



# **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

Titulación :

**INGENIERO INDUSTRIAL**

Título del proyecto:

**DISEÑO DE CAJETÍN PARA SUJECCIÓN DE QUILLAS EN  
TABLAS DE SURF**

## **MEMORIA**

Josu Bidasoro San Martín

Pedro María Villanueva Roldán

Pamplona, 15 de septiembre de 2010



*Aita eta Amari,  
mila esker.*





# ÍNDICE

<b>0. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1. Descripción del Producto</b>	<b>3</b>
1.1 Antecedentes	4
<b>2. Justificación de la Necesidad</b>	<b>7</b>
2.1 Elección de Producto	8
<b>3. Análisis de Mercado</b>	<b>11</b>
3.1 Resultados de la Encuesta	15
3.2 Segmentación del Mercado	23
3.2.1 Criterios de Segmentación	24
3.3 Tipo de Mercado	27
3.4 Patentes	28
<b>4. Análisis DAFO</b>	<b>30</b>
4.1 Análisis Externo	31
4.1.1 Oportunidades	31
4.1.2 Amenazas	32
4.2 Análisis Interno	33
4.2.1 Fortalezas	33
4.2.2 Debilidades	34
4.3 Matriz DAFO	35
4.4 Definición de la Estrategia	36
<b>5. Competencia</b>	<b>38</b>
5.1 F.C.S.	38
5.1.1 Construcción	42
5.1.2 Fallos	43
5.2 Futures	46
5.2.1 Construcción	48
5.2.2 Fallos	49
5.3 LokBox	50
5.3.1 Construcción	53
5.3.2 Fallos	54
5.4 Red-X	56
5.4.1 Construcción	57
5.4.2 Fallos	58

<b>6. Pliego de Condiciones Funcional</b>	<b>62</b>
6.1 Método Red	63
6.1.1 Búsqueda Intuitiva	64
6.1.1.1 Objetivos	64
6.1.1.2 Documentación	64
6.1.1.3 Funciones	65
6.1.1.4 Crítica	66
6.1.1.5 Pliego Condiciones Funcional Provisional (PCFP)	67
6.1.2 Ciclo Vital y Entorno	67
6.1.2.1 Ciclo Vital	68
6.1.2.2 Entorno Interior	68
6.1.2.3 Entorno Exterior	69
6.1.2.4 Funciones a Añadir al PCFP	70
6.1.3 Análisis Secuencial de los Elementos Funcionales	70
6.1.3.1 Reposo	70
6.1.3.2 Trabajando	71
6.1.3.3 Funciones a Añadir al PCFP	71
6.1.4 Movimientos y Esfuerzos	71
6.1.4.1 Montaje/Desmontaje de la Quilla	72
6.1.4.2 Funciones a Añadir al PCFP	72
6.1.4.3 Esfuerzos Transmitidos por la Quilla	73
6.1.5 Productos de Referencia	74
6.1.6 Normas y Reglamentos	75
6.1.6.1 Funciones a Añadir al PCFP	76
6.2 Pliego de Necesidades	76
<b>7. Priorización de Requerimientos Funcionales</b>	<b>79</b>
7.1 Funciones Primarias	80
7.2 Funciones Secundarias	80
7.3 Funciones Terciarias	81
<b>8. QFD</b>	<b>83</b>
<b>9. Diseño Conceptual</b>	<b>91</b>
9.1 Boceto 1	92
9.2 Boceto 2	94
9.3 Boceto 3	96
9.4 Boceto 4	98
9.5 Selección del Diseño Conceptual	100
9.6 Diseño Seleccionado	102

<b>10. AMFE de Diseño</b>	104
10.1 Método AMFE	104
10.1.1 Fallo	105
10.1.2 Modo de Fallo	105
10.1.3 Efecto del Fallo	105
10.1.4 Causa del Fallo	105
10.2 Tablas AMFE de Diseño	112
<b>11. Diseño Preliminar</b>	120
11.1 Prototipado y Selección de Materiales	120
11.1.1 Estereolitografía	125
11.1.2 Sinterización por Láser	127
11.1.3 Fotopolimerización	128
11.1.4 Prototipado por Impresión	129
11.1.5 Deposición de Hilo Fundido	131
11.1.6 Fabricación de Objetos Laminados	132
11.1.7 Deposición y Mecanizado	133
11.1.8 Ventajas que Presentas Algunas Técnicas	135
11.2 Pruebas y Ensayos	138
11.2.1 Determinación de Fuerzas	140
<b>12. Diseño en Detalle</b>	144
12.1 Diseño de Cajetín	144
12.2 Materiales	151
12.3 Fabricabilidad	154
12.3.1 Moldeo por Extrusión	154
12.3.2 Moldeo por Inyección	156
12.4 Herramientas de Instalación	158
12.5 Adaptadores	162
12.5.1 Adaptador F.C.S.	163
12.5.2 Adaptador Futures	164
12.6 Validación del Diseño	165
12.7 Protección del Diseño	170
12.7.1 Marcado CE	171
12.7.2 Patente, Modelo de Utilidad y Diseño Industrial	172
12.7.3 Nombre Comercial	173
<b>13. Crítica al Proceso de Diseño</b>	175
<b>14. Conclusión</b>	178
<b>Bibliografía</b>	180

# 0 INTRODUCCIÓN

Este documento recoge la memoria correspondiente al Proyecto de Final de Carrera del alumno Josu Bidasoro San Martin, estudiante de Ingeniería Industrial en la Universidad Pública de Navarra (UPNA).

Aunque más adelante se aborda el contenido de este proyecto con más detalle, el lector debe saber que se trata del diseño de un nuevo sistema de fijación de quillas desmontables para tablas de surf. Si bien el proyecto se trata de un sistema de fijación, éste necesita de otros accesorios adicionales tales como herramientas de instalación o un manual detallado de instalación. Se diseñarán también estos elementos, y las soluciones obtenidas se mostrarán a lo largo de esta memoria.

El proyecto se ha desarrollado en el ámbito de diseño de producto. Se ha realizado un estudio de la competencia, se ha estudiado el mercado y mediante la utilización de diferentes herramientas se ha realizado el diseño del sistema de sujeción así como de los elementos auxiliares necesarios para su correcto uso y manipulación. Todo el proceso se ha realizado con un único objetivo final: ofrecer al usuario un producto de la máxima calidad y con unas características técnicas superiores a las de la competencia.

Desgraciadamente hay ciertas partes vitales en el desarrollo de éste producto que no se han llevado a cabo, como por ejemplo: diseño de utillaje para la producción de las piezas o una estrategia de marketing y publicidad. Éstos aspectos son tratados en las fases finales de la memoria donde se explicará el motivo de su ausencia.

Puede resultar sorprendente para el lector la elección del tema para este proyecto y más siendo la UPNA una universidad cuya sede no se encuentra en una ciudad costera. El autor, que es originario y actualmente reside en Donostia - San Sebastián es practicante habitual de surf. Además de disfrutar de él como actividad lúdica y deportiva, el autor tiene un gran interés por los aspectos técnicos y de diseño del material empleado en dicha práctica. Por esa razón y siempre a nivel de aficionado, ha estado en contacto con técnicas de fabricación, talleres y artesanos del sector llegando a fabricar él mismo una tabla de surf.

Al ir finalizando las asignaturas correspondientes a los estudios de Ingeniería Industrial y tras haber cursado la asignatura optativa “Ingeniería de Diseño”, decidió plantearse la posibilidad de unir la pasión por el surf con sus conocimientos adquiridos a lo largo de los estudios universitarios y realizar un PFC relacionado con el diseño de las tablas de surf.

La idea que más peso tuvo fue la de las quillas de las tablas de surf, y más concretamente los sistemas de fijación de éstas a las tablas. Consciente de las carencias técnicas de los diseños que actualmente se encuentran en el mercado se consideró una buena opción como PFC. Además, brindaba la posibilidad de tratar de forma profesional y rigurosa el diseño de un producto para un sector que tradicionalmente ha evolucionado basándose en el ensayo y error.

Tras hablar con algunos profesores, el profesor Dr. Pedro Villanueva brindó al autor la posibilidad de realizar el proyecto accediendo a ser su tutor. El autor quiere por tanto aprovechar esta introducción para agradecer la oportunidad brindada al Dr. Pedro Villanueva.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

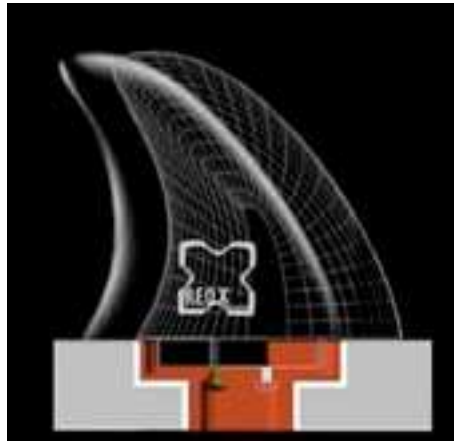
El producto diseñado a lo largo de este Proyecto de Fin de Carrera es un nuevo sistema de fijación de las quillas en las tablas de surf. Las quillas son pequeños timones colocados en la parte trasera de la tabla y sirven para aumentar la estabilidad y agarre en la ola al ser surfeada. Las hay básicamente de dos tipos: fijas y desmontables. Las fijas están pegadas de forma permanente a la tabla con fibra de vidrio. Las desmontables por contra disponen de un mecanismo que permite su cambio o sustitución. Es un producto que hoy en día ya existe en el mercado con diferentes diseños, pero estos diseños no cumplen de forma completa las expectativas de los clientes. Este proyecto trata de diseñar un producto que partiendo de los diseños ya existentes, satisfaga las necesidades de los usuarios de forma completa.



*Figura 1.1: Quillas fijas. Fuente: Surfysurfy.com*

El producto se trata de una pieza que mediante un mecanismo sencillo sujeta la quilla a la tabla pero al mismo tiempo permite su sencillo desmontaje. De igual manera, tiene que ser capaz de transmitir a la tabla los esfuerzos que

soporta la quilla de la forma más eficiente posible. El objetivo principal es que la quilla transmita con este nuevo diseño los esfuerzos que soporta a la tabla de la forma más parecida a como lo hacen las quillas fijas. Si esto no se cumple al menos parcialmente, el diseño no tendrá éxito.



*Figura 1.2: Quilla Red-X en su cajetín. Fuente: rexxfins.com*

Para llevar a cabo este producto se ha seguido la metodología utilizada en la asignatura Ingeniería de Diseño impartida por el profesor y Doctor Pedro Villanueva que determina los pasos a seguir para diseñar un nuevo producto de forma ordenada y eficaz.

## **1.1 Antecedentes**

Si bien el surf es bastante popular desde los años 60, principalmente en los Estados Unidos o Australia, poca es la investigación de carácter público que se ha realizado en su entorno. No ha sido hasta bien entrados los 90 cuando el surf se ha convertido en un jugoso negocio para las empresas y por tanto ha propiciado el desarrollo de numerosas investigaciones que lamentablemente son de carácter confidencial.

Si el lector desea profundizar en la evolución de los diferentes tipos de tablas de surf, los diseñadores que han revolucionado en diferentes ocasiones el concepto de tabla de surf o los propios avances de los materiales y técnicas de fabricación, el Autor le invita a que lea el Anexo de éste PFC titulado “Introducción a las Tablas de Surf”. Allí encontrará extensa información en torno a los campos mencionados.

Centrándonos en las investigaciones previas realizadas y los conocimientos que hay en torno a las quillas en las tablas de surf, a continuación enumeraré aquellas de mayor importancia y una breve descripción de cada una.

- Terry Hendricks. Ingeniero de profesión, escribió unos artículos publicados en la revista estadounidense especializada “Surfer” resumiendo su Tesis Doctoral relacionada con la hidrodinámica de las tablas de surf en los años 60
- Michael Paine. Realiza su Tesis Doctoral en Ingeniería Mecánica en 1974 en la Universidad de Sidney.
- David Carswell. 2007. 3 años de investigación en torno a las quillas en las tablas de surf en la Universidad de Swansea, Reino Unido. Su Tesis, empleada en este PFC se basa en conocer los coeficientes de arrastre y sustentación de una serie de quillas comerciales para intentar desarrollar una quilla con mínimo rozamiento. También publica un artículo en 2004 en el que establece que las quillas desmontables ofrecen menor rozamiento que las fijas.



Básicamente esos son los 3 documentos públicos que se pueden encontrar en torno a investigación específica sobre tablas de surf o quillas. Además de éstos, documentos ahora desclasificados de las investigaciones efectuadas sobre perfiles aerodinámicos por la NACA en los años 60-70 han sido utilizados por diferentes diseñadores en el desarrollo de quillas que ofrezcan menor resistencia al avance.

Evidentemente en la actualidad hay muchísima investigación en torno a las quillas, el problema es que ésta es totalmente confidencial, como responsables de empresas dedicadas al sector me han hecho saber, y por tanto inaccesibles para personas externas a las compañías relacionadas. Dada esta situación, los documentos anteriormente citados de los cuales tengo una copia, y conversaciones mantenidas con profesionales del sector han sido clave en el desarrollo de éste producto a modo de PFC.

## 2 JUSTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD

La sociedad actual está cada vez más preocupada en aquello que llamamos tiempo libre u ocio. Está demostrado que la forma en la que disfrutamos nuestro tiempo libre influye directamente en la salud, bienestar, relaciones, productividad laboral, etc. influye por tanto en todos nuestros aspectos cotidianos. Por esta razón cada vez destinamos más esfuerzo e interés a satisfacer nuestras necesidades lúdicas. Y queremos que ese esfuerzo que realizamos sea adecuadamente compensado.

El surf no se trata de una actividad deportiva más. Se le ha clasificado muchas veces de *forma de vida* y para algunas personas ciertamente lo es. Ha cruzado la barrera del simple deporte para convertirse en una actividad más completa. Los practicantes de surf en su mayoría no sólo van a surfear, sino que aprovechan la ocasión para entablar conversaciones con los amigos, dar un paseo por la playa y otras actividades además del propio hecho de hacer surf.

Para otras personas se ha convertido en su modo de ganarse la vida. Bien siendo surfistas profesionales o bien ejerciendo labores relacionadas con el surf: monitores, entrenadores, representantes, comerciales de marcas, pequeños o grandes negocios... Esto ha hecho que la industria del surf haya ido avanzando y haya pasado de pequeños negocios destinados únicamente a mantener el estilo de vida del surfista, a grandes empresas multinacionales que en la actualidad cotizan en bolsa. Algunas de ellas se encuentran a la vanguardia mundial del diseño en materiales, técnicas de fabricación y tecnología que pueda aprovecharse para el surf.

Al igual que ha cambiado la industria, también han cambiado los surfistas. Hoy en día cada vez menos personas piensan en el estereotipo de antaño: un personaje rubio, vestido con harapos y zángano. Aunque también hay quien piensa que el surf se reduce a eso. Los surfistas de hoy en día son abogados, albañiles, profesores, médicos, mecánicos o ingenieros, o incluso atletas profesionales con contratos millonarios. Son personas de todo tipo de clase social que tienen una afición común. Ya no se conforman con productos chapuceros hechos por el “amigo de un amigo” y que son suficiente para gastar poco dinero y seguir su estilo de vida. Quieren productos tecnológicamente avanzados y de calidad. Esto ha convertido al surf en un negocio multimillonario a lo largo y ancho del mundo.

Como se ha dicho anteriormente, las personas cada vez destinamos más esfuerzo a nuestras actividades lúdicas. Muchos nos decantamos por el deporte, y algunos, sobre todo si viven en zonas de costa, por el surf. Se trata de una actividad física completa y muy exigente. Y por si fuera poco está de moda. Y para disfrutar de esta actividad de la forma más placentera posible, destinamos parte de nuestro dinero a material específico. La cantidad de dinero que un surfista se gasta en *material duro* a lo largo del año es considerable.

Existe por esa razón una lucha tecnológica por parte de las empresas para conseguir el mejor producto. Cada vez una mayor parte de sus presupuestos está destinada al I+D.

## 2.1 Elección de producto

El diseño de las tablas de surf es sumamente complejo. No es como podría ser el diseño de las palas de un aerogenerador. En este caso se conoce el

rango de velocidades del viento para los que tiene que ser diseñado, el rendimiento que se quiere obtener, etc. en resumidas cuentas, se conocen las condiciones de funcionamiento de las palas con bastante detalle. Con las tablas de surf no.

Es habitual escuchar que las olas nunca son iguales, y ciertamente no lo son. Tampoco las personas que hacen surf son iguales, ni sus expectativas para con el surf. Por tanto hablar de un diseño óptimo para una tabla de surf resulta una utopía. De hecho, como se verá en este proyecto existen infinidad de formas, medidas y diseños de tablas de surf y cada una será un buen diseño para un surfista y unas condiciones particulares. Pero resulta imposible conseguir un diseño óptimo para todos.

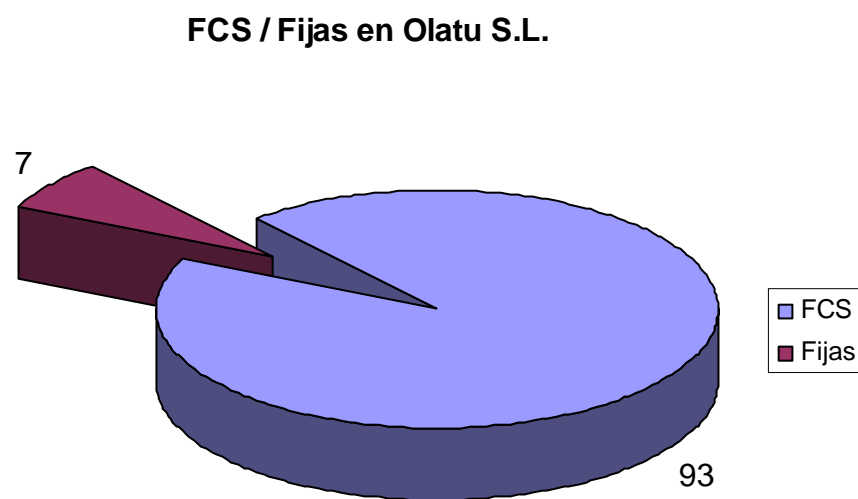
Algo parecido sucede con las quillas, esos pequeños timones colocados en la parte trasera de la tabla que proporcionan estabilidad y agarre al surfista. No existe un modelo ideal. Hay grandes esfuerzos destinados a diseñar quillas que tengan una mínima resistencia al avance, pero eso no garantiza que tengan éxito si no gustan a los surfistas. Todo depende de las sensaciones.

Lo que si se puede mejorar es el sistema de sujeción de las quillas a las tablas de surf. Las quillas pueden estar unidas a la tabla de dos formas diferentes: pegadas con fibra de vidrio denominadas “fijas” o sujetas mediante un sistema de quillas desmontables. Todo el mundo prefiere el *feeling* de las quillas fijas, pero las comodidades y ventajas de los sistemas desmontables son mucho mayores. La gran mayoría de surfistas acaba usando quillas desmontables aún cuando las fijas les gustan más. Sólo algunos surfistas profesionales sacrifican la comodidad de las quillas desmontables por las fijas pues repercute directamente en su nivel y por tanto en su competitividad.

El objetivo de este proyecto es por tanto, partiendo de los sistemas de quillas desmontables más populares en la actualidad, diseñar un sistema que se comporte como lo hacen las quillas fijas. De esta forma todo el mundo podrá valerse de las comodidades de un sistema desmontable sin tener que renunciar a unas mejores prestaciones.

### 3 ANÁLISIS DE MERCADO

El producto que se va a diseñar va a entrar en un mercado ya consolidado. Entre todos los fabricantes despunta uno: FCS. La empresa australiana Fin Control System lleva desde principios de los años 90 dominando ampliamente el mercado. Según la fábrica de tablas Olatu (que tiene la factoría en Oiartzun y es líder europeo en fabricación de tablas de surf) el 93% de las tablas que se fabrican en su factoría monta un sistema de quillas desmontables FCS. Este dato no es representativo del mercado pues Olatu tiene un convenio económico con FCS para fabricar todas sus tablas de quillas desmontables con su sistema, pero por el contrario si que es representativo de la cantidad de tablas que se fabrican con quillas desmontables.



El 7% restante corresponde a las tablas que Olatu fabrica para los surfistas profesionales de su equipo y encargos especiales correspondientes a caprichos o usos muy específicos.

Con estas cifras es más que evidente que un producto así tiene un mercado que ya existe. El problema es que dada la situación del mercado donde un fabricante es dueño de la gran mayoría de clientes, un nuevo producto que aspire a entrar tiene que ser muy superior para poder hacerse un hueco.

Las características del producto que se va a diseñar tienen que ser acordes con las características que quieren los clientes. Tiene que satisfacer las necesidades presentes y futuras de los clientes e incluso crearles necesidades que no existen. Para determinar estas necesidades, el método más adecuado suele ser realizar una encuesta y hacer un estudio de los resultados.

En la encuesta que se ha realizado se ha consultado a los practicantes de surf cuales son sus necesidades actuales en un sistema de quillas desmontables y cual es su opinión ante nuevas características que este diseño podría incorporar.

La encuesta se ha realizado a 57 surfistas que practican dicha actividad en las playas de Gros (Donostia), Zarautz, Orío, Orrua (Zumaia) y Deba. Se ha llevado a cabo entre el 1 de Noviembre de 2009 y el 15 de Enero de 2010, por tanto en época otoño-invernal, lo que hace que las personas encuestadas sean surfistas habituales todo el año. Este es el sector que más interesa, pues es el que se vale y aprovecha los avances técnicos de las tablas de surf.

La encuesta que aquellos surfistas que accedieron rellenaron se muestra a continuación. En la encuesta se ha decidido no preguntar el nombre de los encuestados, ya que algunas personas son reacias a compartir información de ese tipo.

## ENCUESTA

*Haz una X en la casilla más adecuada. Intenta ser lo más sincero posible en tus respuestas.*

1. Tu nivel de surf es:

- ☐ Aficionado
- ☐ Iniciado
- ☐ Medio
- ☐ Avanzado
- ☐ Profesional

2. ¿Con qué regularidad practicas surf?

- ☐ Una o dos veces al mes
- ☐ Una o dos veces a la semana
- ☐ Los fines de semana
- ☐ Varias veces a la semana
- ☐ Todos los días. A veces más de una vez al día.

3. ¿Cuántas tablas tienes?

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3-5
- ☐ Más de 5

4. ¿Cuántas quillas tienen tus tablas? (Aquí puedes marcar más de una opción)

- ☐ 1 (Single) o 1+2 (Single más estabilizadores)
- ☐ 2 (Twin)
- ☐ 3 (Thruster)
- ☐ 4 (Quad) o más.



5. ¿Usas un sistema de quillas desmontables?

- ☐ Sí
- ☐ No

6. ¿Cuál?

- ☐ FCS
- ☐ Future
- ☐ LokBox
- ☐ Otro. Indica cual:.....

7. ¿Valoras la rigidez de un sistema de quillas desmontable?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ Me da igual

8. ¿Te interesaría otro sistema más eficiente?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ Sí, siempre y cuando no sea más caro

9. ¿Te interesaría un sistema de quillas que no necesitase herramientas?

- ☐ Sí
- ☐ No

10. ¿Qué otras mejoras pedirías a un sistema de quillas desmontables?

.....

*Muchas gracias por tu colaboración.*

### 3.1 Resultados de la encuesta

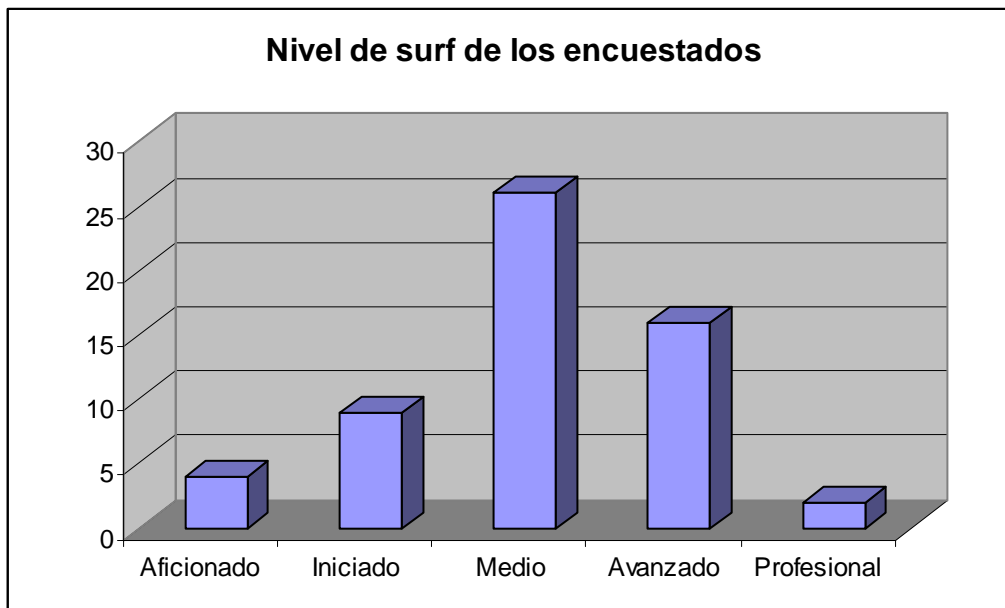
En la siguiente tabla se muestran los resultados de la encuesta realizada, y posteriormente los mismo datos de forma gráfica para que resulten más fáciles de interpretar.

Resultados de la encuesta		
	Valor numérico	Porcentaje
<i>1. Tu nivel de surf es:</i>		
Aficionado	4	7,0
Iniciado	9	15,8
Medio	26	45,6
Avanzado	16	28,1
Profesional	2	3,5
<i>2. ¿Con qué regularidad practicas surf?</i>		
1-2 veces al mes	3	5,3
1-2 veces a la semana	7	12,3
Fines de semana	11	19,3
Varias veces a la semana	23	40,4
Todos los días	13	22,8
<i>3. ¿Cuántas tablas tienes?</i>		
1	10	17,5
2	25	43,9
3 a 5	18	31,6
Más de 5	4	7,0
<i>4. ¿Cuántas quillas tienen?</i>		
1	4	7,0
2	3	5,3
3	56	98,2
4	16	28,1

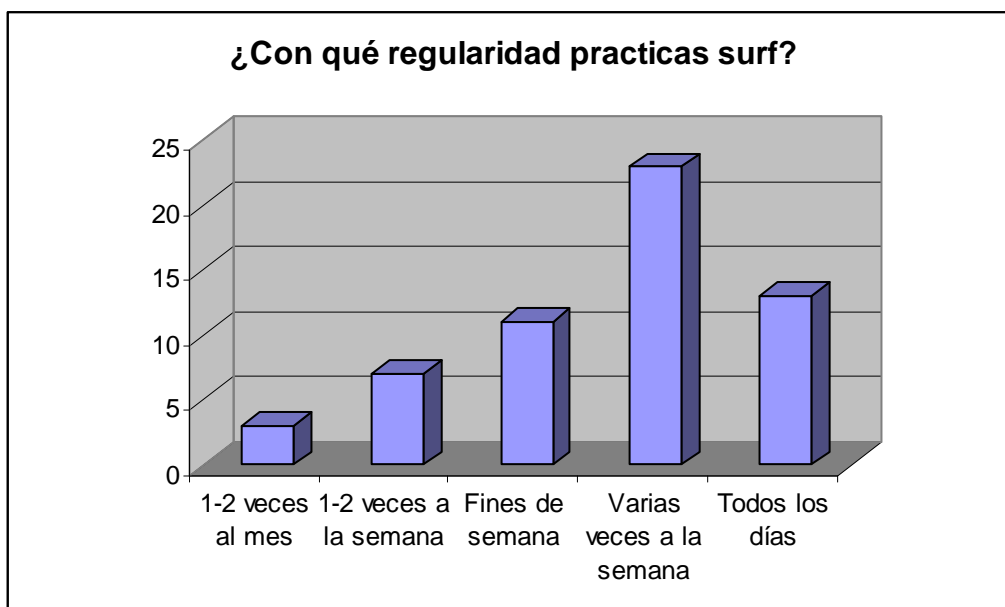
<i>5. ¿Usas quillas desmontables?</i>		
Si	55	96,5
No	2	3,5
<i>6. ¿Cuál?</i>		
FCS	42	73,7
Future	3	5,3
LokBox	7	12,3
Otro	3	5,3
<i>7. ¿Valoras la rigidez de un sistema de quillas desmontable?</i>		
Si	44	77,2
No	4	7,0
Me da igual	9	15,8
<i>8. ¿Te interesaría otro sistema más eficiente?</i>		
Si	37	64,9
No	4	7,0
Si si no es más caro	16	28,1
<i>9. ¿Te interesaría un sistema sin herramientas?</i>		
Si	47	82,5
No	10	17,5

Pero la mejor forma de valorar los resultados es realizar los gráficos correspondientes. De esta forma es más fácil identificar las opciones más destacadas y por tanto realizar un análisis de los resultados más acertado.

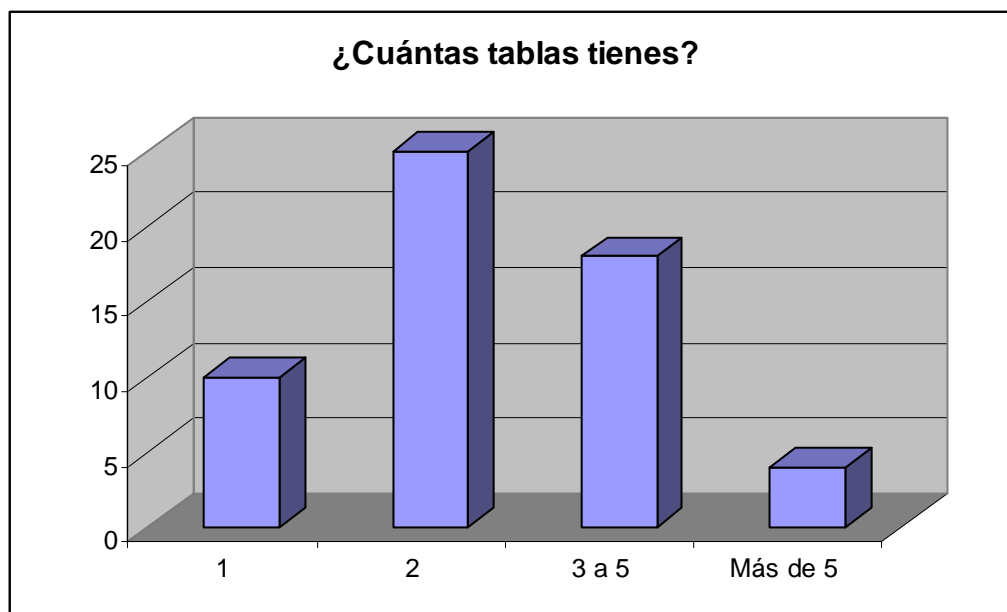
A continuación se muestran los gráficos correspondientes a cada una de las preguntas realizadas en la encuesta junto con una pequeña valoración de los resultados.



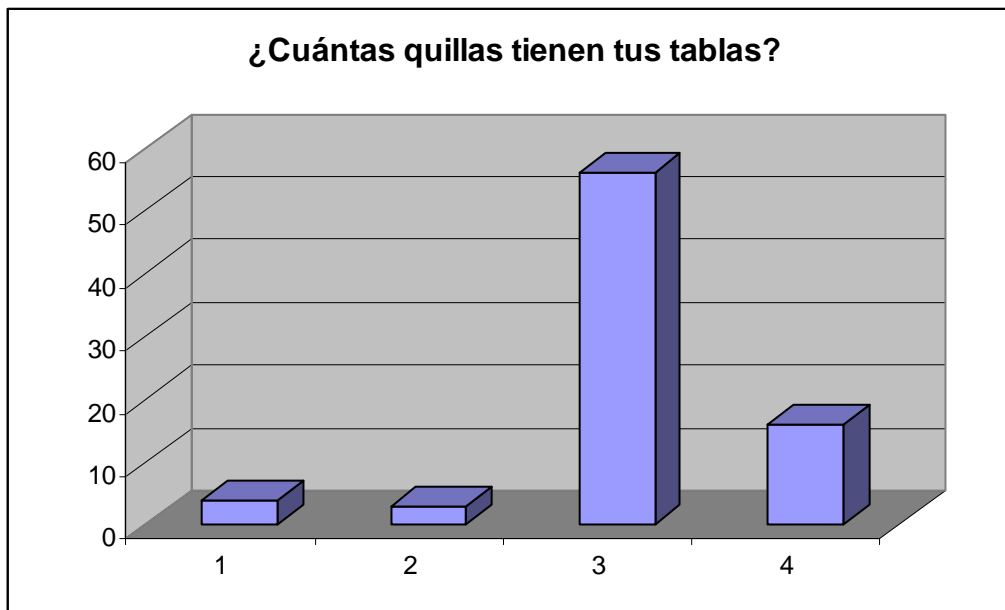
Como se puede apreciar en el gráfico, la mayoría de surfistas se consideran a si mismos de nivel medio o avanzado. Teniendo en cuenta esto, y aún sin saber si este dato es objetivamente cierto o no, se puede concluir que estos usuarios pertenecen al grupo al que estaría diseñado el producto propuesto: de nivel aceptable para valorar un producto técnicamente superior.



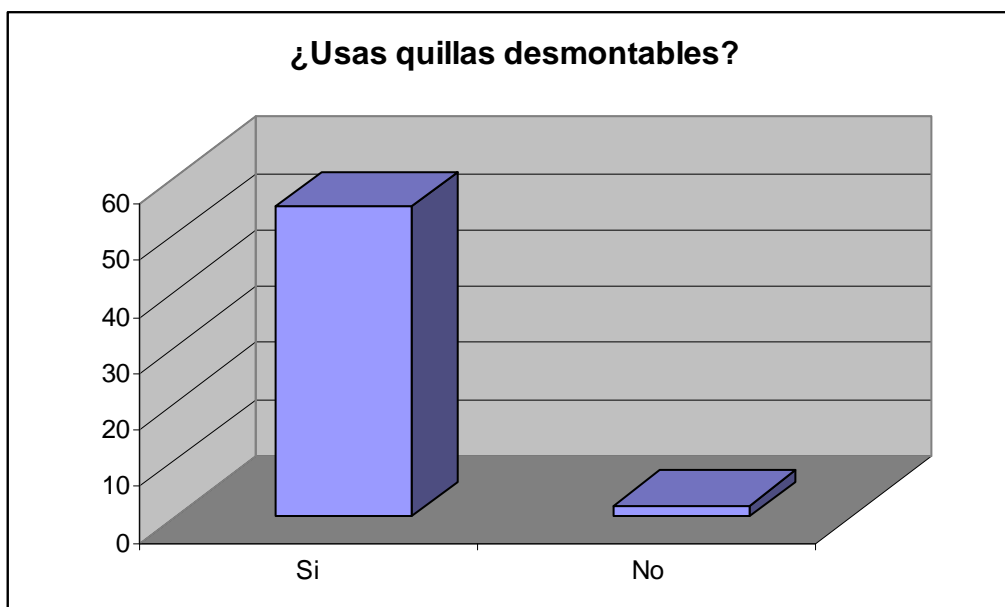
Apoyando el dato de la pregunta anterior, en este gráfico se puede apreciar que la mayoría de surfistas son practicantes habituales. Esto valida la opinión que los encuestados tienen sobre si mismos, ya que aquellos practicantes habituales tendrán, presumiblemente, un nivel aceptable.



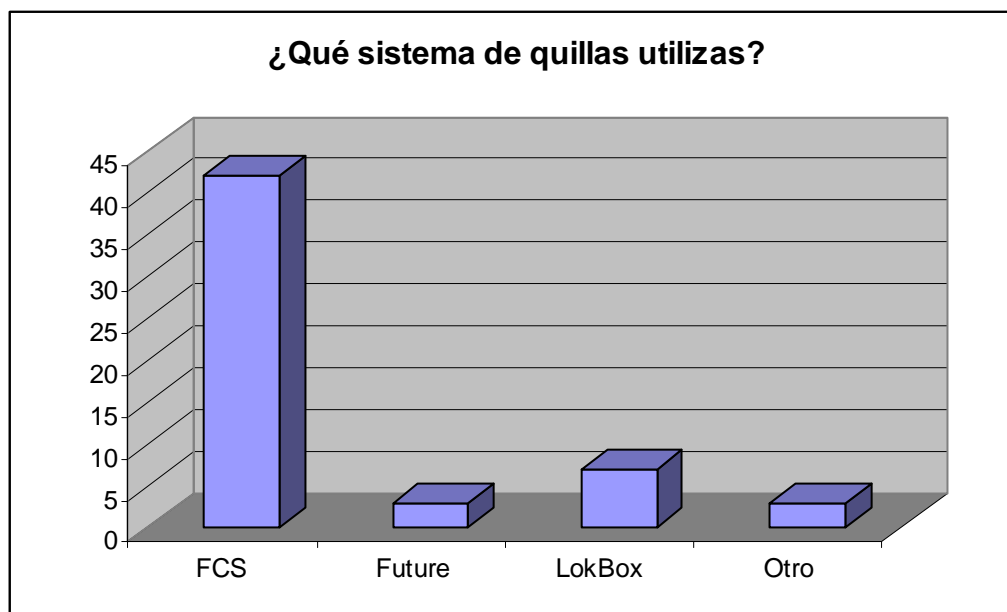
La mayoría de surfistas tienen entre 2 y 5 tablas. Esto se debe a que la forma y el diseño de las tablas de surf adecuado varía mucho dependiendo de las olas que van a surfearse. De esta forma, un surfista competente tendrá al menos dos tablas, una para olas normales y otra para pequeñas. A medida que el nivel es mayor, las tablas específicas se hacen cada vez más necesarias. Los sistemas de quillas desmontables alivian de alguna manera esta necesidad de muchas tablas, pues modificando las quillas se puede modificar el comportamiento de la tabla. Un juego de quillas cuesta mucho menos dinero que una tabla completa, por lo tanto si un surfista puede adecuar su tabla a las condiciones únicamente cambiando sus quillas reducirá la cantidad de tablas necesarias. De ésta forma reducirá tanto el gasto en material como en espacio necesario para almacenarlo tan importante hoy en día debido al pequeño tamaño de las viviendas.



Este dato es revelador. El 98% de surfistas tienen al menos una tabla de 3 quillas. Esto hace que el desarrollo de un sistema de 3 quillas sea el más interesante, pero no hay que descuidar que un 28% tienen una tabla de 4 quillas, por tanto interesará desarrollar un diseño que sea aplicable a ambas configuraciones.

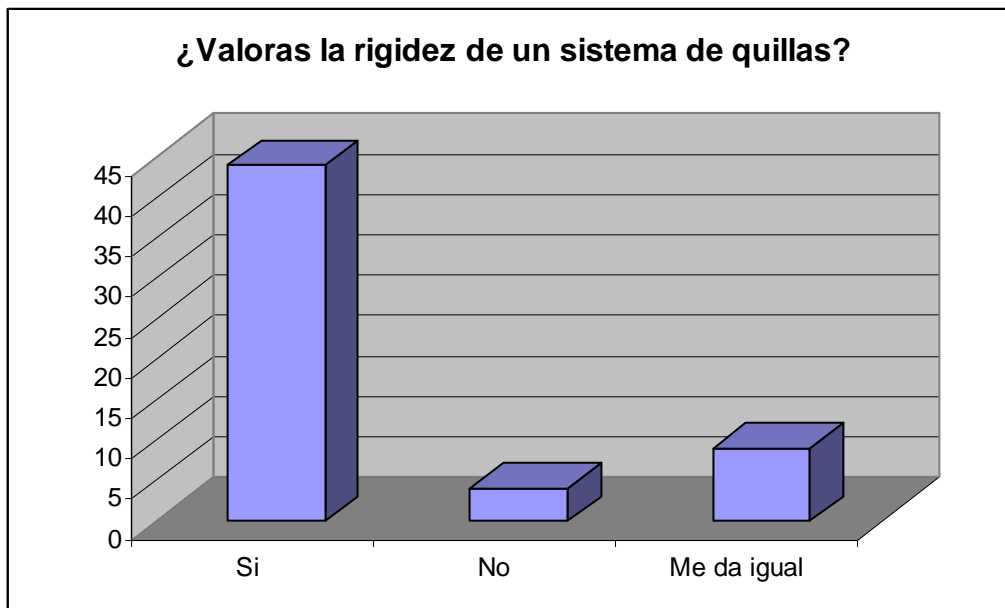


Se comprueba de esta forma que la gran mayoría de surfistas se conforma con los sistemas de quillas desmontables aún cuando las quillas fijas tienen mayor rendimiento, y salvo en casos concretos se decantan por sistemas desmontables.



En este gráfico puede apreciarse por primera vez uno de los grandes inconvenientes que pueden presentarse para el éxito de un nuevo diseño. La gran mayoría de usuarios (casi un 74%) usan el mismo sistema. La fidelidad de los consumidores hacia ese sistema es grande, por tanto el producto a diseñar tendrá que ser por un lado claramente superior técnicamente y por otro compatible con éste.

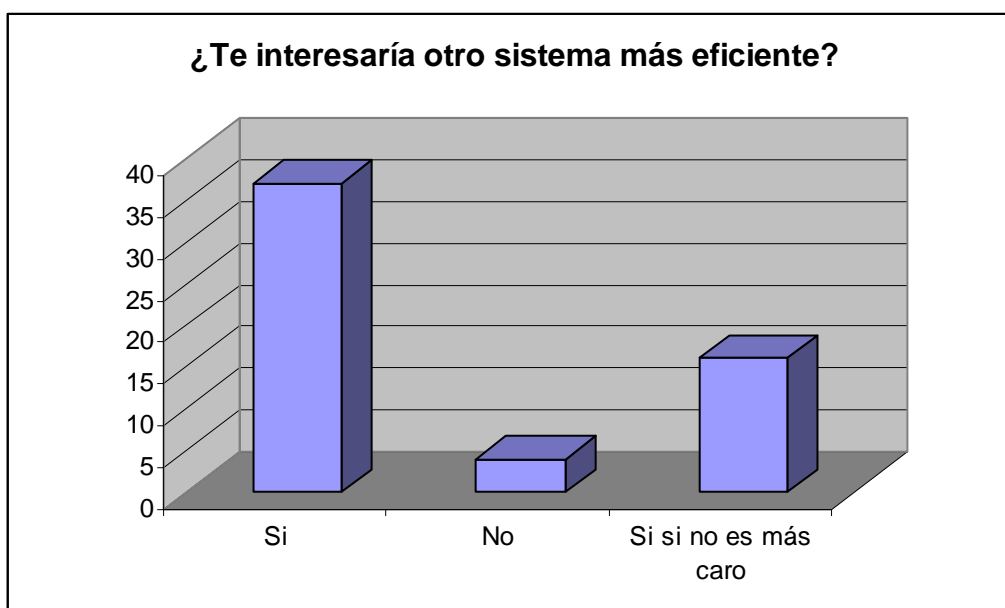
Esta compatibilidad puede ser una ventaja pues ampliará el número de diseños de quillas disponibles para el consumidor, pudiendo utilizar en la misma tabla y con un único sistema de quillas, sets de quillas de diferentes fabricantes. Por tanto al realizar el QFD habrá que tener en cuenta la necesidad de compatibilidad con otros sistemas.



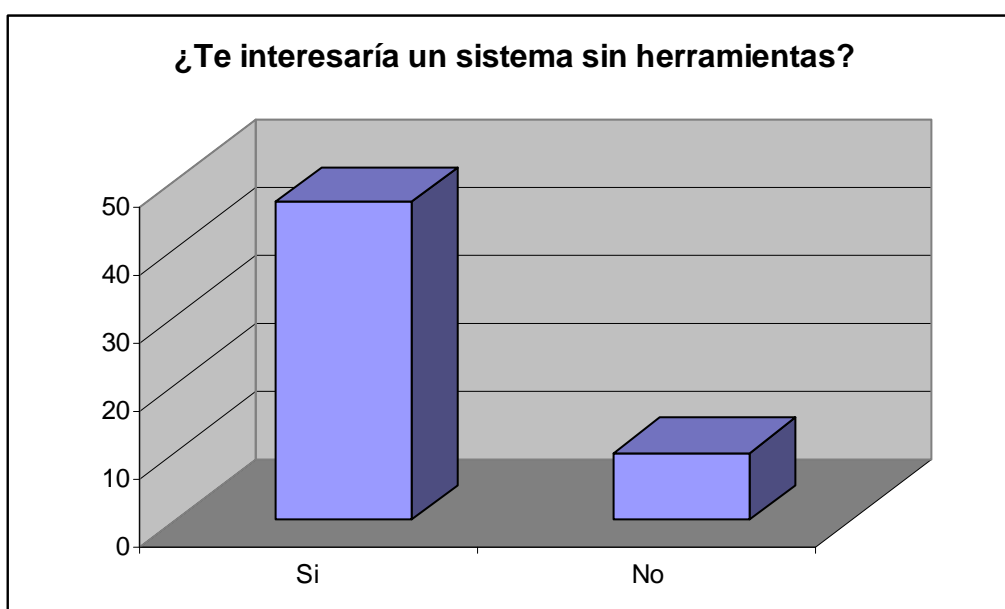
La rigidez del sistema de quillas está altamente valorada por los usuarios. Se utilizan quillas de fibra de vidrio que son más rígidas (y caras) y demuestra que los consumidores tienen conocimientos técnicos sobre las tablas de surf. Si el consumidor aprecia en otro producto al que usa habitualmente una mejora real de un aspecto tan valorado como la rigidez, resultará interesante su adquisición.

Este es por tanto un aspecto fundamental a tener en cuenta en el diseño del producto. Es la razón principal por la que se comenzó este proyecto y la característica que lo hará diferenciarse de la competencia.





Habría que tener en cuenta que el producto diseñado no sea más caro, o al menos no mucho más que los sistemas actuales, ya que una cantidad considerable de encuestados no usarían un nuevo sistema si este fuera más caro.



Por último, la posibilidad de un sistema que no necesitase herramientas para el intercambio de las quillas ha sido muy bien acogida por los encuestados.

Esto permitiría probar en la misma sesión diferentes quillas sin tener que salir del agua, o intercambiarlas con un compañero para probar ese último diseño que no sabes muy bien si comprar o no.

Tiene varios inconvenientes, ya que podría encarecer el producto, reducir su fiabilidad en caso de mecanismos complejos y el temor a que las quillas se suelten en mitad del baño por parte de los usuarios sería difícil de eliminar. En cualquier caso será un aspecto importante a tener en cuenta en el QFD la posibilidad de que el sistema no necesite herramientas.

### **3.2 Segmentación del mercado**

Normalmente interesa segmentar el mercado para dedicar los esfuerzos hacia un determinado grupo de consumidores potenciales. En este caso el mercado es bastante homogéneo pero se pueden distinguir ciertos sub-grupos que lo constituyen, ya que las razones por las que un individuo hace surf pueden ser muy diferentes y por tanto, diferentes serán las expectativas que ese individuo tiene hacia su material.

La segmentación de mercado en general es una buena herramienta para:

- Identificar las necesidades específicas de cada submercado.
- Focalizar mejor la estrategia de marketing a utilizar.
- Hacer publicidad más efectiva.
- Identificar nichos propios sin competencia directa.
- Aumentar posibilidades de crecer en segmentos de mercado sin competidores.

Como se puede apreciar, algunas de las ventajas de la segmentación coinciden con la información extraída del análisis de mercado. Existe un grupo de consumidores que no aceptan los productos de la competencia por falta de satisfacción y los consumidores que emplean los productos de la competencia son conscientes de las carencias técnicas de los sistemas que usan en la actualidad.

### **3.2.1 Criterios de segmentación**

Los criterios generales de segmentación son independientes del producto y del comportamiento del cliente con respecto a él. Son 4 los criterios fundamentales de segmentación:

- Variables geográficas
- Variables demográficas
- Variables psicográficas
- Variables de comportamiento

Por otro lado existen criterios específicos de segmentación que si tienen que ver con el producto y el comportamiento del cliente respecto a él. Debido a la naturaleza del mercado y el producto, éstos son los criterios empleados para segmentar el mercado al que está destinado el producto.

En la siguiente página se muestra un esquema de la morfología del mercado y los diferentes segmentos que lo conforman.



Se ha clasificado el mercado en 3 grandes grupos dependiendo del nivel de los usuarios. Por un lado los profesionales, que se dedican a tiempo completo al surf, como atletas profesionales. El segundo grupo se trata de surfistas habituales que tienen un nivel alto y que lo practican con gran asiduidad. Por último el de los surfistas ocasionales que por diferentes razones le dedican poco tiempo al surf. Este último grupo se considera de un nivel bajo.

Los dos grupos a los que está destinado el producto son el primero y el segundo, ya que para apreciar la mejora que ofrece su utilización ha de tenerse un nivel medio-alto.

Se han estudiado las motivaciones que hacen que las personas pertenecientes a los dos primeros grupos hagan surf. El grupo de profesionales se puede dividir en dos grupos: aquellos que están patrocinados por una o más marcas y aquellos que no están patrocinados y se ganan la vida con los premios de los campeonatos. Esto resulta interesante ya que aquellos que no tengan un contrato con una empresa que comercialice sistemas de quillas desmontables son susceptibles de probar y usar el nuevo producto.

Hay que tener en cuenta también que hay surfistas que compiten y otros que no lo hacen. Esto es posible gracias a que algunos disfrutan de contratos que les permiten hacer surf sin exigirles resultados en competiciones. La empresa recupera la inversión utilizando la imagen de ese surfista en campañas publicitarias. Estos profesionales se denominan en el mundillo *free surfers*. En principio, competidores y no competidores son susceptibles de utilizar el nuevo diseño.

El segundo grupo llamado Habituales, está compuesto por 3 tipos de usuarios denominados: Exigentes, Followers y Quemados. Los exigentes son

aquellos que prueban de forma crítica los nuevos productos y evalúan de forma objetiva la calidad de éste. Este grupo sólo usará el producto si es realmente eficaz.

Los llamados Followers son aquellos usuarios que eligen el material dependiendo de lo que usen los demás. La mayoría de las veces consumen aquellos productos que anuncian los profesionales. No son tan sensibles a la eficacia o utilidad del producto como lo son a la publicidad. Para que el producto cale en este sector tendrá que tener un apoyo publicitario, que haya cuajado en los profesionales y que también lo usen los exigentes.

Por último, el grupo denominado Quemados, es el grupo al que pertenecen las personas que no se creen nada de los nuevos avances. Creen que ya está todo inventado y que un producto nuevo es inútil. Calar en este grupo es muy difícil ya que tienen una gran fidelidad de marca y a no ser que sea un producto tremendamente superior y sólo con el paso del tiempo llegarán a emplearlo.

### **3.3 Tipo de mercado**

Como se ha visto en el apartado anterior, el mercado se encuentra segmentado, y la naturaleza de esa segmentación tendrá que ser tomada en cuenta en el proceso de diseño si se quiere que el producto tenga éxito. Existen diferencias entre las necesidades de unos u otros usuarios y el producto tiene que ser capaz de satisfacerlas todas.

En cualquier caso el perfil del usuario está bastante bien definido:

*“Hombre de edad comprendida entre los 20 y 35 años. Deportista. Tiene pareja y trabajo*

*estable y aún no ha tenido hijos. Gran parte de su dinero se emplea en ocio. No es amante de los productos exclusivos o lujosos. Tiene conciencia medioambiental y gran interés por la música y el arte."*

Ya que el mercado para el que está destinado el producto es bastante particular, no tiene mucho sentido en este proyecto hablar de pliego de condiciones de marketing. A pesar de ello si que se ha estudiado la competencia y se ha hecho un análisis de las patentes existentes de productos similares para conocer las soluciones con los que otros diseños anteriores han optado.

### **3.4 Patentes**

Existen multitud de patentes correspondientes a soluciones empleadas tanto para los sistemas de fijación de quillas a tablas de surf, windsurf, etc. así como para las propias quillas. Para poder acceder a estas patentes se ha utilizado el buscador de Google Patent, que ha resultado ser tremendamente eficaz.

Todas las patentes consultadas y estudiadas se encuentran en el Anexo 3 de esta memoria.

Las patentes correspondientes a sistemas de fijación de quillas se estudiarán más detalladamente en el capítulo 5 de esta memoria. En ese capítulo se hace un estudio profundo de los diseños de la competencia, y para ello una de las herramientas empleadas ha sido el análisis de las patentes que los protegen.

En cuanto al diseño de las quillas, las patentes existentes son bastante antiguas y resultan anticuadas. Dada la naturaleza de una quilla y que todas tienen la misma función (dar estabilidad lateral a la tabla) el autor cree que los modelos industriales son las técnicas empleadas por los fabricantes para salvaguardar sus diseños de la copia. En cualquier caso, la misma copia resulta complicada dada la naturaleza del mercado. Cada uno de los fabricantes dispone de un tipo de sistema que no es compatible con los de la competencia, por lo que sus quillas sólo servirán para sus sistemas. Por tanto no existe la copia entre unos y otros fabricantes pues si bien las quillas del fabricante A y las del fabricante B pudieran ser iguales, los sistemas de fijación a la tabla serían diferentes y por tanto los productos finales también.

Además, debido a lo reducido del mercado no existe una competencia suficientemente feroz como para que la copia de diseños sea preocupante. Existen algunos imitadores que copian el producto de las marcas líderes, pero estas imitaciones son a menudo rechazadas por los propios usuarios finales, bien por falta de calidad o bien por falta de confianza en el producto de imitación. Sólo el segmento del mercado denominado como Aficionados estaría interesado en adquirir productos de menor calidad más baratos, pues la calidad no es una de sus prioridades.



## 4 ANÁLISIS DAFO

El análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades. También conocido como FODA o en inglés SWOT) es un recurso creado en la década de los 70 y que hoy en día es la herramienta estratégica más utilizada para conocer la situación real de una organización en el mercado. Se lleva a cabo mediante dos análisis, uno interno y otro externo. El interno analiza dos variables que la organización puede controlar y modificar: Debilidades y Fortalezas. El externo por el contrario, estudia la situación del mercado y por tanto de variables no controlables por la organización: Amenazas y Oportunidades.

El objetivo final del análisis DAFO es determinar las ventajas competitivas de la empresa que realiza el estudio y la planificar las medidas a tomar para cumplir los objetivos estratégicos fijados en el mercado en el que se mueve.

Tras realizar en análisis DAFO la organización debería de ser capaz de contestar claramente a las siguientes preguntas:

- ¿Cómo se puede explotar cada fortaleza?
- ¿Cómo se puede aprovechar cada oportunidad?
- ¿Cómo se puede detener cada debilidad?
- ¿Cómo se puede defender de cada amenaza?

El análisis consta de cuatro pasos:

- Análisis Externo.
- Análisis Interno.
- Confección de la matriz DAFO.
- Determinación de la estrategia a emplear.

En el caso particular del producto que interesa a dicho proyecto, no existe una empresa que ya esté en el mercado y vaya a lanzar un nuevo producto o se esté planteando sus objetivos estratégicos. De hecho se está valorando el mercado para lanzar un nuevo producto desarrollado desde cero, por una empresa inexistente, por eso es importante conocer cual es el estado actual del mercado, las posibilidades que existen para un nuevo producto y determinar de forma acertada las cualidades del producto a lanzar para que tengan la mayor posibilidad de éxito.

## **4.1 Análisis Externo**

El análisis externo permite conocer las Oportunidades y Amenazas que se le presentan a una organización en el mercado en el que se mueve. No sólo se valoran cuestiones correspondientes al mercado sino también cuestiones sociales, políticas, legales, etc. que influyan en los intereses de la empresa.

### **4.1.1 Oportunidades**

Oportunidad es todo aquello que pueda suponer una ventaja competitiva para la empresa.

Mediante la formulación de diferentes preguntas se realiza el estudio de las oportunidades que se le presentan a la empresa. Las oportunidades que se

presentan para el lanzamiento de un nuevo sistema de quillas desmontables para tablas de surf son las siguientes:

- Mayor poder adquisitivo.
- Más dinero dedicado a ocio.
- Mayor interés de los medios de comunicación en el surf. Más publicidad.
- Boom del surf. Está de moda.
- I+D en el surf cada vez más valorado. El mercado quiere avances tecnológicos.
- Los sufistas cada vez compran más tablas.
- Nivel de surf en alza.
- La publicidad es relativamente fácil y barata.
- Globalización de la economía. No existe tanto proteccionismo.
- Ayudas a jóvenes e innovadores empresarios.

#### **4.1.2 Amenazas**

Amenaza se define como toda fuerza del entorno que puede impedir la implantación de una estrategia, o bien reducir su efectividad, o incrementar los riesgos de la misma, o los recursos que se requieren para su implantación, o bien reducir los ingresos esperados o su rentabilidad.

Al igual que en el apartado anterior, mediante la realización de diferentes preguntas se han determinado las amenazas a las que se enfrentará el nuevo sistema.

- Situación económica confusa.
- Dificultad de obtener un crédito para una PYME.

- Mercado existente con un líder destacado.
- Falta de credibilidad por muchos productos similares ineficaces.
- Consumidores reticentes a los cambios.
- Escepticismo de los consumidores hacia la calidad del nuevo producto.

## 4.2 Análisis Interno

El análisis interno estudia la posición de la empresa en el mercado y las posibilidades de desarrollo de ésta. Este análisis debe considerar una gran diversidad de factores relativos a aspectos de producción, marketing, financiación, etc.

Al igual que en el análisis externo, tanto las Fortalezas como Debilidades se determinan respondiendo a preguntas que la empresa debe responder con sinceridad.

### 4.2.1 Fortalezas

También llamadas puntos fuertes. Son capacidades, recursos, posiciones alcanzadas y, consecuentemente, ventajas competitivas que deben y pueden servir para explotar oportunidades.

- Producto técnicamente superior.
- Facilidad de producción.
- Instalación sencilla y rápida.
- Se proporciona kit de instalación e instrucciones de montaje.
- Compatible con otros sistemas.

- Barato.
- Inversión pequeña en maquinaria.
- Mayores posibilidades de configuración.
- Ligero.
- Resistente al envejecimiento en entorno hostil.
- Aspecto vistoso.

#### 4.2.2 Debilidades

También llamadas puntos débiles. Son aspectos que limitan o reducen la capacidad de desarrollo efectivo de la estrategia de la empresa, constituyen una amenaza para la organización y deben, por tanto, ser controladas y superadas.

Para determinar los puntos débiles del producto diseñado y la empresa que lo comercializaría, se han hecho determinadas preguntas cuyas respuestas se consideran puntos débiles.

- Nuevo producto. Difícil entrar en el mercado.
- Escepticismo antes un nuevo producto más.
- Posibilidad de imagen de producto de “teletienda”.
- Empresa sin tradición. La tradición se valora especialmente en el mercado de los productos de surf como signo de calidad.
- No hay contratos con surfistas que promocionen el producto.

### 4.3 Matriz DAFO

Matriz DAFO	Oportunidades	Amenazas
<b>Análisis Externo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mayor poder adquisitivo.</li> <li>○ Más dinero dedicado a ocio.</li> <li>○ Mayor interés de los medios de comunicación en el surf. Más publicidad.</li> <li>○ Boom del surf. Está de moda.</li> <li>○ I+D en el surf cada vez más valorado. El mercado quiere avances tecnológicos.</li> <li>○ Los sufistas cada vez compran más tablas.</li> <li>○ Nivel de surf en alza.</li> <li>○ La publicidad es relativamente fácil y barata.</li> <li>○ Globalización de la economía. No existe tanto proteccionismo.</li> <li>○ Ayudas a jóvenes e innovadores empresarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Situación económica confusa.</li> <li>○ Dificultad de obtener un crédito para una PYME.</li> <li>○ Mercado existente con un líder destacado.</li> <li>○ Falta de credibilidad por muchos productos similares ineficaces.</li> <li>○ Consumidores reticentes a los cambios.</li> <li>○ Escepticismo de los consumidores hacia la calidad del nuevo producto.</li> </ul>
	<b>Fortalezas</b>	<b>Debilidades</b>
<b>Análisis Interno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Producto técnicamente superior.</li> <li>○ Facilidad de producción.</li> <li>○ Instalación sencilla y rápida.</li> <li>○ Se proporciona kit de instalación e instrucciones de montaje.</li> <li>○ Compatible con otros sistemas.</li> <li>○ Barato.</li> <li>○ Inversión pequeña en maquinaria.</li> <li>○ Mayores posibilidades de configuración.</li> <li>○ Ligero.</li> <li>○ Resistente al envejecimiento en entorno hostil.</li> <li>○ Aspecto vistoso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Nuevo producto. Dificil entrar en el mercado.</li> <li>○ Escepticismo antes un nuevo producto más.</li> <li>○ Posibilidad de imagen de producto de “teletienda”.</li> <li>○ Empresa sin tradición. La tradición se valora especialmente en el mercado de los productos de surf como signo de calidad.</li> <li>○ No hay contratos con surfistas que promocionen el producto.</li> </ul>

La matriz DAFO tiene como objetivo presentar en un mismo cuadro todas las Oportunidades, Amenazas, Fortalezas y Debilidades para conocer y valorar la cuantía de estas.

Lo ideal es que no haya más amenazas y debilidades que oportunidades y fortalezas respectivamente, pues entonces la empresa y el producto sobre el que se ha hecho el análisis DAFO estaría en una clara desventaja. Como se puede ver en la matriz anterior el nuevo producto propuesto se encuentra en una posición favorable dentro del mercado.

Si bien es cierto que existen amenazas y debilidades importantes, también posee suficientes puntos fuertes para intentar hacerse un hueco en el mercado. Ahora que se conocen los puntos fuertes y también los flojos es más sencillo desarrollar una estrategia efectiva.

#### **4.4 Definición de la Estrategia**

Una vez conocida la situación de la empresa y el producto en el mercado se puede trazar una estrategia que permita cumplir los objetivos propuestos.

El objetivo del nuevo producto que se va a diseñar es colocarse en 5 años entre los 4 fabricantes más importantes de sistemas de quillas desmontables.

Para ello tendrá que desarrollarse un catálogo amplio de quillas compatibles con el sistema diseñado. Al menos tendrán que diseñarse 12 modelos diferentes. Tendrá que haber al menos 2 tallas (grande y pequeña) y preferiblemente 3 (grande, mediana y pequeña) de los modelos más populares.

Ya que como se ha visto anteriormente algunos de los segmentos del mercado son altamente influenciados por la publicidad y por la opinión que los profesionales tienen del producto, será necesaria la creación de un equipo de surfistas patrocinados por la marca y que promocionen las bondades del nuevo diseño.

Dado que el objetivo del producto es colocarse en 5 años entre los 4 sistemas más utilizados del mundo, el equipo de surfistas patrocinado tendrá que tener repercusión en todo el mundo. Inicialmente y dados los elevados costes de patrocinio de surfistas de clase mundial, se puede patrocinar a surfistas locales o europeos que puedan tener repercusión en competiciones internacionales.

Pero este tema de la promoción se estudiará más detenidamente en capítulos posteriores.



## 5 COMPETENCIA

Como se ha dicho anteriormente ya existen productos similares al que se va a diseñar en el mercado. Es un hecho que su rendimiento es inferior al de las quillas fijas. Una persona con un nivel medio puede apreciar las diferencias. No existen valores numéricos que avalen tales diferencias o al menos no se ha tenido acceso a ellos antes de comenzar este proyecto, pero es algo que es evidente para el practicante.

Existen multitud de sistemas de quillas desmontables. Pero se puede decir que sistemas eficaces, que han tenido éxito comercial hay 3: FCS, Futures y LokBox. Tras ponerse en contacto con los tres fabricantes sólo LokBox ha mostrado interés en ayudar a llevar a cabo este proyecto. Además de estos 3 fabricantes, se ha decidido considerar a la empresa californiana RedX como competencia. Si bien en Europa sus productos son difíciles de encontrar (en parte por juventud y en parte por falta de distribuidores), en California están teniendo cierto éxito debido a algunas características que otros sistemas no tienen. Además, el dueño de la empresa Tom O'Keefe ha accedido a ayudar al autor en el desarrollo de este proyecto prestándose como asesor técnico.

### 5.1 FCS

Fin Control System es una empresa australiana que como se ha dicho varias veces anteriormente es el líder del mercado mundial de sistemas de quillas desmontables. Posee dos modelos diferentes, el X-2 y el Fusion.



*Figura 5.1: Tapón FCS X-2 sin montar. Fuente: 360guide.info*



*Figura 5.2: Tapón FCS Fusion. Fuente: surffcs.com*

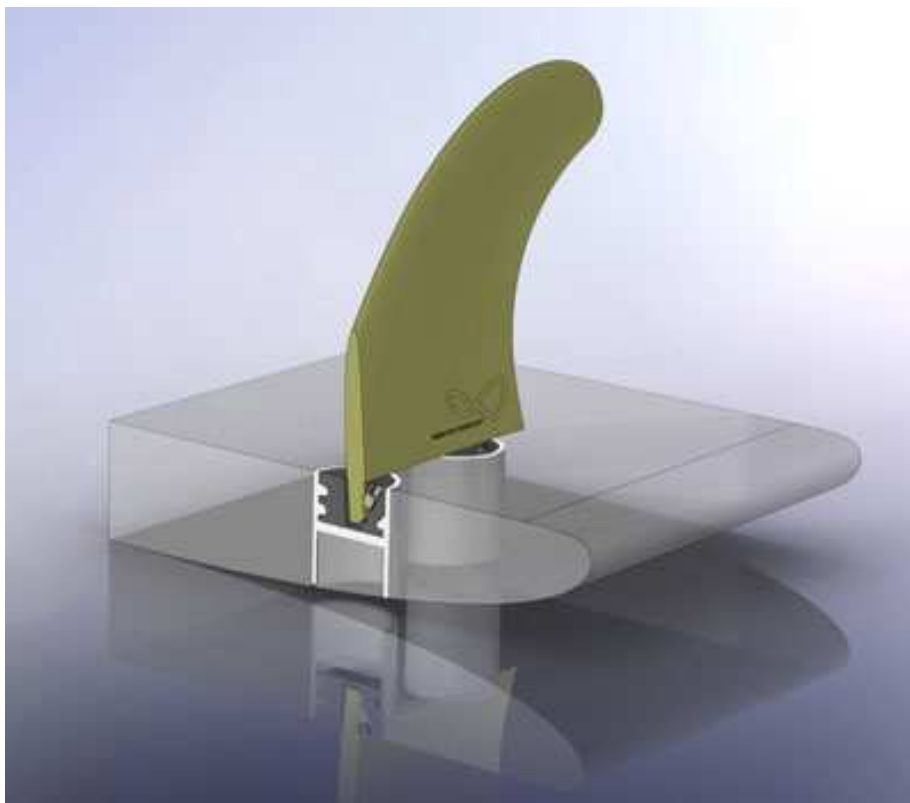
El segundo se trata un intento de ofrecer un diseño más eficiente en respuesta al diseño de Futures, ya que éste es cada vez más popular en los mercados estadounidense y australiano. No obstante este sistema no ha gustado a los usuarios, y muy poca gente lo usa a pesar de ser 100 compatible con el X-2, por esa razón en este proyecto se estudiará el modelo X-2.

Se ha hecho tan popular debido a dos razones. En primer lugar posee un amplísimo catálogo de quillas con más de 30 modelos diferentes. Esto hace que prácticamente todos los usuarios encuentren en su catálogo un modelo que se acerque a lo que buscan y además ofrece varios de sus modelos en diferentes tallas (para surfistas más o menos pesados). Por otro lado, tiene un equipo de surfistas profesionales muy importante y lo utiliza en publicidad a menudo. Es decir, destina gran parte de sus esfuerzos al marketing.



Figura 5.4: Catálogo de quillas de FCS. Fuente: surfcs.com

El funcionamiento del sistema es muy sencillo. Se trata de dos tapones con una ranura cada uno. A un lado de cada tapón hay un pequeño tornillo Allen sin cabeza en ángulo de 45°. La quilla tiene en su base dos protuberancias separadas entre si 7cm. Estas protuberancias de la quilla se introducen en las ranuras de los tapones de forma sencilla ya que las ranuras de los tapones son ligeramente mayores. Para fijar la quilla se aprietan los dos tornillos empleando una llave Allen común. Para soltar la quilla no hace falta más que soltar los tornillos y tirar de ella.



*Figura 5.4: Sección de tabla con FCS X-2. Fuente: 360guide.info*

El montaje de los tapones en la tabla es bastante sencillo también. Se trata de un sistema que a diferencia del resto de la competencia se instala después del laminado (En caso de dudas sobre los términos empleados, en los Anexos 1 y 2 se detallan los procesos de fabricación de tablas de surf así como la terminología técnica empleada). Esto provoca ciertos fallos que serán estudiados más adelante pero por otro lado simplifica el montaje. Se realizan unos agujeros circulares con una broca y se rellenan de una mezcla de poliéster y microbalones. Se introducen los dos tapones fijados a una pieza que sirve de guía y se coloca en el ángulo de caída deseado. Se retira el sobrante de resina y se deja secar. Una vez seco sólo falta lijar con máquina la parte sobrante del tapón hasta dejarlo a las del *bottom*.

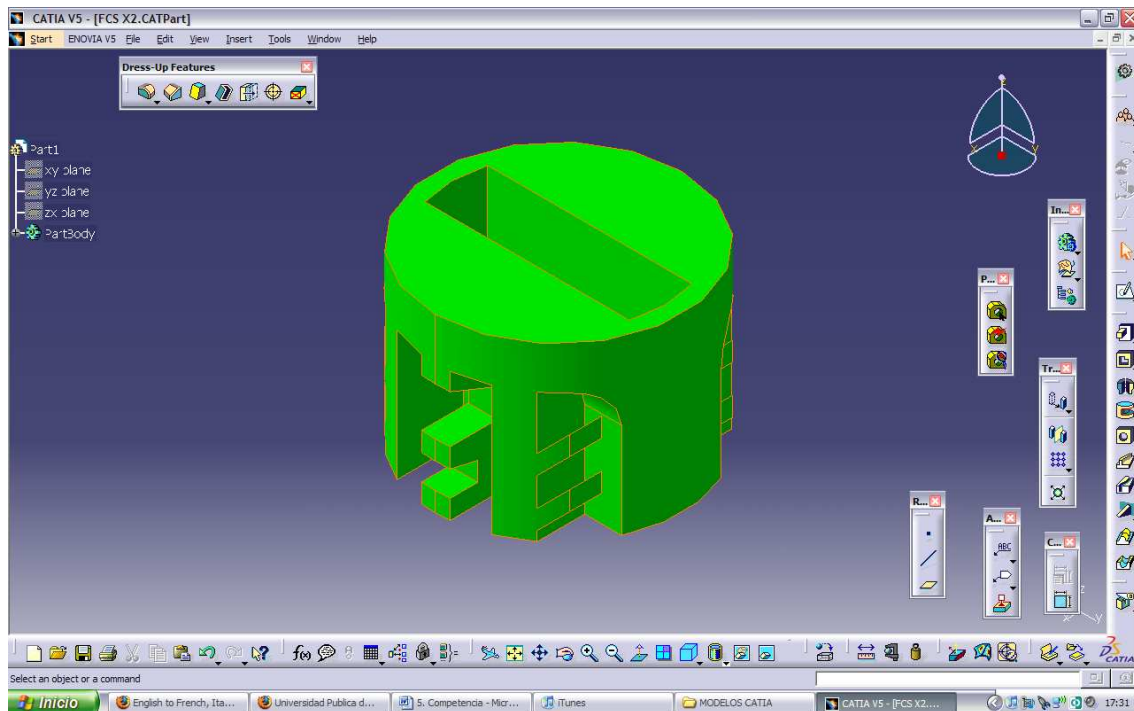
Su precio de mercado para el usuario final suele ser de en torno a 5€ por unidad (dependiendo del distribuidor). Si una tabla de 3 quillas necesita 6 tapones (pues el sistema usa 2 tapones por quilla), implica un coste de 30€ por tabla en material.

### **5.1.1 Construcción**

El tapón X-2 de FCS, al igual que la mayoría de la competencia del sector está fabricado mediante un proceso de inyección de plástico. Dada la geometría del tapón esta es la técnica más apropiada y barata para su fabricación. Además permite la producción de gran cantidad de unidades a un bajo precio.

No se conoce la naturaleza del material que se utiliza para su fabricación. Se trata de un polímero ligeramente traslúcido aunque antes se utilizaba uno opaco. El cambio de materiales parece responder más a una forma de mejorar el aspecto del producto más que a mejorar sus cualidades mecánicas.

En la siguiente figura se puede apreciar el modelo del tapón realizando en Catia.



*Figura 5.5: Modelo de tapón FCS en CATIA.*

Los tornillos son de acero galvanizado para mayor resistencia debido a la atmósfera agresiva en la que se van a encontrar. Se desconoce si los tornillos los fabrica FCS o no, pero resultaría absurdo fabricarlos por su cuenta.

### 5.1.2 Fallos

A pesar de ser el sistema más popular, es también uno de los que más carencias técnicas posee. A continuación se enumeran los fallos más habituales:

- Rotura de la base de la quilla. Es muy habitual, sobre todo en los modelos de quillas más sencillos de plástico. Basta con cambiar de quilla. Esto se debe a que es muy poca la sección que une la quilla a la tabla, y si los esfuerzos que soporta son elevados, puede partirse más fácilmente que otros modelos de la competencia.

- Rotura del tapón. Como se trata de un tapón relativamente pequeño insertado en foam, si la quilla soporta esfuerzos demasiado grandes o bien recibe un impacto, es habitual que el tapón se arranque del foam. Es muy habitual si se usan quillas de fibra de vidrio o carbono, pues son muy rígidas. Su arreglo resulta complicado, además de que se moja el foam y se deteriora, pudiendo provocar una ruptura prematura después de reinstalar el tapón.



*Figura 5.6: Rotura del tapón FCS. Fuente: boardlady.com*

- Instalación errónea. Al ser necesario el montaje de dos tapones por quilla y a pesar de usar una guía para que estos queden alineados puede que un tapón quede descentrado respecto al otro. Esto provocaría la imposibilidad de montar una quilla y habría que soltarlo para volver a instalarlo. También puede ocurrir que los dos tapones se instalen correctamente el uno respecto del otro, pero el conjunto esté mal instalado. Esto dependerá más de la plantilla de instalación y de su diseño.

- Oxidación del tornillo. A pesar de que está fabricado en acero galvanizado, dadas las condiciones en que se encuentra (agua salada) es habitual que con el tiempo el tornillo se oxide y pudra.
- Cabeza del tornillo dañada. Con el uso incorrecto de las llaves Allen para apretar y soltar las quillas es muy habitual que la cabeza del tornillo se pase. Es especialmente crítico este defecto pues su solución es muy complicada. Hay que pegar una llave Allen usando pegamento o taladrarlo para soltarlo. Muchas veces no se puede solucionar y requiere la sustitución del tapón.
- Filtración de agua al foam por mal sellado de la resina que recubre al tapón. A veces, al mezclar la resina con microbalones para reducir su peso aparecen burbujas en la mezcla que pueden acarrear filtraciones de agua al foam. Como se ha dicho anteriormente, si el foam se moja, se pudre y pierde sus capacidades mecánicas. Esto provoca que la rotura o deterioro de la zona afectada sea mucho más probable.

El sistema de quillas FCS se encuentra patentado y su número de patente en Estados Unidos es 5.672.081 y data de septiembre de 1997. La patente de este sistema se adjunta en esta memoria en los Anexos.



## 5.2 Futures

Futures Fin Co. es una empresa Californiana que comercializa un sistema de quillas desmontable para tablas de surf así como un variado catálogo de quillas. Es el segundo sistema más popular entre los surfistas después de FCS y su competencia directa ya que cada vez cuenta con más clientes.

Posee un gran catálogo de modelos de quillas, pero no tienen tanta presencia en los medios especializados como tiene FCS.

Su sistema está considerado más eficiente que el de FCS en parte porque se trata de una pieza única que proporciona más apoyo a la quilla en su base. Se trata de una pieza alargada con una única ranura de forma rectangular. En un extremo interior de esta ranura se encuentra una muesca donde se encajará la quilla y en el otro extremo hay un agujero por donde entra un tornillo con una inclinación de 45º. Este tornillo una vez apretado, fijará la quilla para que no se salga del cajetín. El movimiento que se realiza es similar al que se haría para colocar la batería de un teléfono móvil.

El montaje de los cajetines de Futures se realiza antes del laminado de la tabla. Por esta razón no es muy apropiado para las tablas de fabricación tipo sándwich o huecas. Por el contrario, el reparto de tensiones en el conjunto foam + fibra es más homogéneo, lo que resulta más agradable para los usuarios. Para llevar a cabo el montaje se fresa mediante una fresadora manual y el uso de una plantilla el foam. La plantilla puede ser sencilla o disponer de un sistema de vacío que la pega al foam una vez colocada en su posición y así evitar cambios en el posicionamiento del cajetín.

Una vez hecho el agujero se pone en el un poco de poliéster y se coloca el cajetín retirando el sobrante. Cuando está seco ya se puede laminar la tabla.



*Figura 5.7: Cajetín Futures. Fuente: futuresfins.com*

El sistema de fijación es mucho más eficiente pues toda la base de la quilla se encuentra dentro del cajetín. Además, los esfuerzos se reparten en toda la base de la quilla lo que provoca que las tensiones en la base sean mucho menores que en el sistema de FCS.

El sistema de sujeción de Futures se encuentra patentado con fecha de Abril del año 1983. Su número de patente estadounidense es 4.379.703 y una copia de esta patente se encuentra en los anexos de esta memoria.

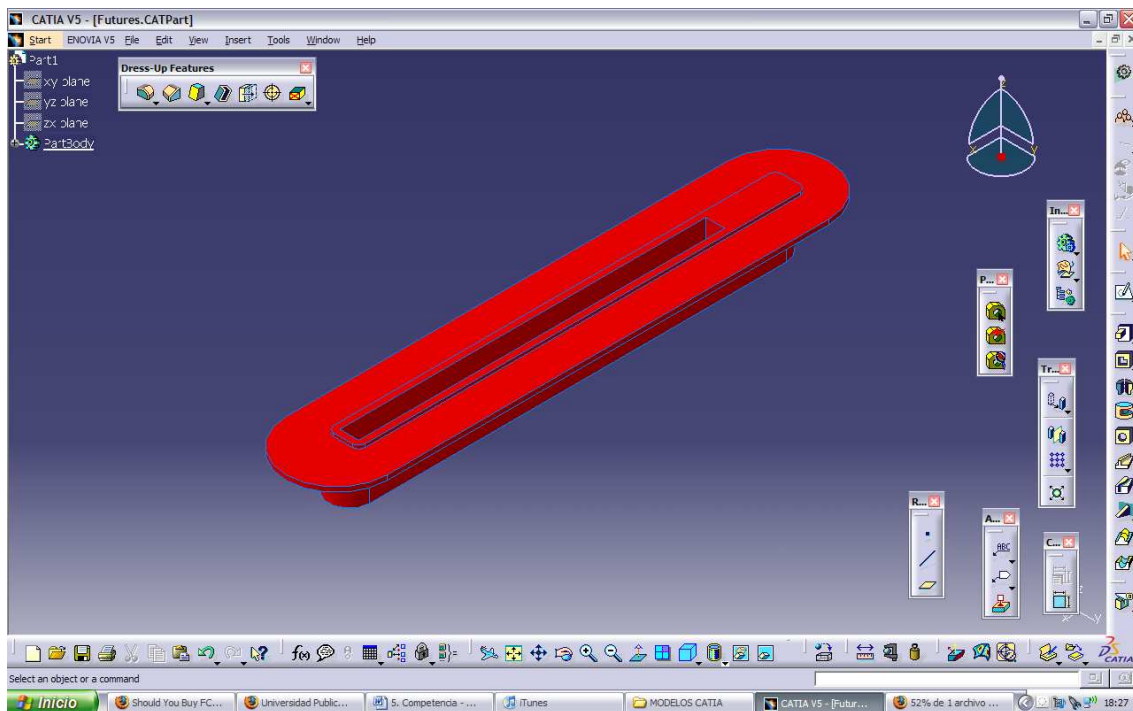
Su precio comercial es entre 7 y 8 € dependiendo del distribuidor. Cada tabla necesitará 3 cajetines (uno por quilla) lo que supone un costo añadido de 24€ por tabla.

### 5.2.1 Construcción

Al igual que el sistema anterior los cajetines de FCS se fabrican mediante inyección de un polímero. La geometría del cajetín es bastante sencilla lo que implica que se pueden fabricar con mayor rapidez.

Dispone de un tornillo por cajetín en acero galvanizado para evitar la corrosión.

En la siguiente imagen se puede observar el modelo del cajetín Futures realizado en CATIA.



*Figura 5.8: Modelos de cajetín Futures en CATIA.*

### 5.2.2 Fallos

Este diseño suele ocasionar algunos fallos habituales que se enumeran a continuación:

- Rotura del cajetín. Debido a su diseño de líneas paralelas, es habitual que en un sobreesfuerzo el cajetín se despegue del foam. Al tener fibra por encima, produce un daño importante, que es más difícil de reparar. Esto suele suceder tanto con esfuerzos laterales como longitudinales (por ejemplo golpear con la quilla una roca o el fondo de arena/coral).



- Filtraciones. La capa de fibra con la que se lamina la tabla recubre tanto el foam como parte del propio cajetín. Al ser este de plástico, la fibra en caso de usar como matriz poliéster, no se adhiere tan bien como al foam. Esto puede producir pequeñas vías de agua que lleguen al foam, haciendo que éste se pudra y pierda sus capacidades mecánicas. El uso de resina epoxi suele ser la solución a este problema aunque tampoco se asegura que no haya filtraciones.

- Mal montaje. El agujero que hay que hacer para instalar el cajetín tiene que ser muy preciso. En caso de no disponer de la bomba de vacío que recomienda usar Futures, es probable que la colocación de la quilla no sea la adecuada. En caso de instalar mal el cajetín no existe una solución buena. Se puede arreglar haciendo otro agujero y rellenando con resina el sobrante, pero no es una solución adecuada según el fabricante. En caso de hacer mal el agujero la tabla prácticamente es inservible. Como se ha dicho, es un proceso crítico.
  
- Oxidación del tornillo. A pesar de que está fabricado en acero galvanizado, dadas las condiciones en que se encuentra (agua salada) es habitual que con el tiempo el tornillo se oxide y pudra.
  
- Cabeza del tornillo dañada. Con el uso incorrecto de las llaves Allen para apretar y soltar las quillas es muy habitual que la cabeza del tornillo se pase. Es especialmente crítico este defecto pues su solución es muy complicada. Hay que pegar una llave Allen usando pegamento o taladrarlo para soltarlo. Muchas veces no se puede solucionar y requiere la sustitución del cajetín.

### 5.3 LokBox

LokBox es una empresa creada en 1995 en San Diego, California. Es al igual que Futures, el intento californiano de competencia frente a FCS. Menos

popular que Futures, quizá por su más limitado catálogo de quillas, y sobre todo por la poca variedad de materiales con las que éstas se comercializan.

Las quillas de LokBox se fabrican únicamente en dos materiales: Fibra de vidrio y Bambú. El primer material es muy habitual en las quillas de surf, aunque no a todo el mundo le gusta debido a su rigidez. Esto limita un poco su mercado. Las quillas de Bambú que han sido incorporadas recientemente a su catálogo han supuesto una revolución en el sector. Quienes las han probado aseguran que su comportamiento es el compromiso ideal entre ligereza y rigidez, flotan y estéticamente son muy atractivas. Se fabrican usando un núcleo de madera de bambú y recubriéndolo con fibra de vidrio y poliéster.



*Figura 5.8: Set de quillas de Bambú de LokBox. Fuente: LoxBoxfins.com*

Respecto al sistema de sujeción de las quillas, el sistema de LokBox posee dos características singulares: Forma elíptica y posibilidad de ajuste longitudinal de la quilla.

Según sus fabricantes, la forma elíptica se debe a que este diseño transmite mejor los esfuerzos de la quilla a la tabla y además hace que el sistema sea más rígido. Dado el momento de inercia del cajetín, mucho mayor que el de FCS o Futures, esta afirmación es cierta.

La segunda característica importante del diseño es la posibilidad de regular la posición longitudinal de la quilla aproximadamente 3 cm adelante o atrás. Esto que en principio puede parecer muy poco tiene importantes efectos en el comportamiento de la tabla de surf y supone un valor añadido muy importante para el diseño de un sistema de quillas desmontables. No sólo se pueden utilizar diferentes diseños de quillas, sino que además se puede variar su posición al gusto del usuario.



*Figura 5.10: Cajetín LokBox. Fuente: lokboxfins.com*

El sistema de fijación se trata de una ranura en la que se introduce una parte de la quilla de la misma anchura que la ranura. Esta ranura es más larga que la parte de la quilla que se introduce en ella y esto permite su movimiento adelante y atrás. Una vez introducida la quilla y colocada en la posición deseada, ésta se sujeta mediante una pletina que se aprieta con un tornillo.

No se ha encontrado patente para el sistema de LokBox, pues no la tiene. En conversaciones con el director técnico de LokBox Jim Robertson, éste reconoció que para el mercado al que está dirigido su producto no les resultaba rentable patentar el diseño por los altos costes de patentes y de protección de ésta. Esto supone una ventaja, para el competidor, pues el diseño elíptico es el mejor del mercado, y al no estar protegido puede utilizarse como base para posibles mejoras.

El precio por cada uno de los cajetines es de en torno a 7,50€, lo que supone un coste de 22,50€ para una tabla que disponga de 3 quillas.

### **5.3.1 Construcción**

Al igual que todos los demás sistemas, el de LokBox también se fabrica mediante inyección de plástico y las partes metálicas son de acero galvanizado.

El modelo realizado en CATIA del cajetín de LokBox se muestra a continuación:



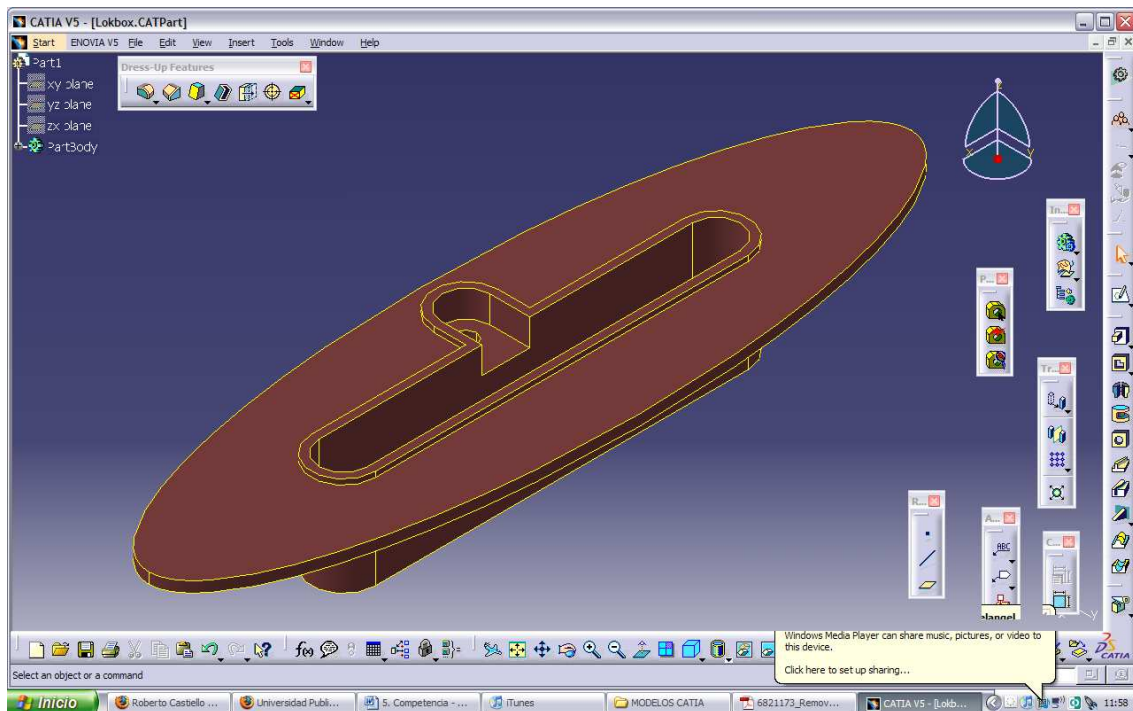


Figura 5.11: Modelo del Cajetín de Futures en CATIA.

### 5.3.2 Fallos

Fallos más habituales que suele ocasionar el sistema de LokBox son los siguientes:

- Caída de la quilla. Dada la naturaleza del sistema de cajetín es habitual que la quilla se suelte y se caiga del cajetín. En caso de que la quilla flote no es un gran problema, pero sólo los modelos de bambú lo hacen. En el resto de modelos de quillas éstas se perderían en el fondo.
- Filtraciones. La capa de fibra con la que se lamina la tabla recubre tanto el foam como parte del propio cajetín. Al ser este de plástico, la fibra en caso de usar como matriz poliéster, no se adhiere tan bien como al foam. Esto puede producir pequeñas vías de agua que lleguen al foam, haciendo que éste se pudra y

pierda sus capacidades mecánicas. El uso de resina epoxi suele ser la solución a este problema aunque tampoco se asegura que no haya filtraciones.

- Mal montaje. El agujero que hay que hacer para instalar el cajetín tiene que ser muy preciso. En caso de no disponer de la bomba de vacío que recomienda usar Futures, es probable que la colocación de la quilla no sea la adecuada. En caso de instalar mal el cajetín no existe una solución buena. Se puede arreglar haciendo otro agujero y rellenando con resina el sobrante, pero no es una solución adecuada según el fabricante. En caso de hacer mal el agujero la tabla prácticamente es inservible. Como se ha dicho, es un proceso crítico.
- Oxidación del tornillo. A pesar de que está fabricado en acero galvanizado, dadas las condiciones en que se encuentra (agua salada) es habitual que con el tiempo el tornillo se oxide y pudra.
- Cabeza del tornillo dañada. Con el uso incorrecto de las llaves Allen para apretar y soltar las quillas es muy habitual que la cabeza del tornillo se pase. Es especialmente crítico este defecto pues su solución es muy complicada. Hay que pegar una llave Allen usando pegamento o taladrarlo para soltarlo. Muchas veces no se puede solucionar y requiere la sustitución del cajetín.

## 5.4 Red-X

El sistema Red-X es un sistema de quillas desmontables desarrollado y comercializado por la empresa estadounidense Daum Tooling, Inc. con sede en San Clemente, California.

Su Director General es Tom O'Keefe, y ha sido de gran ayuda para desarrollar este Proyecto de Final de Carrera, resolviendo innumerables dudas sobre cuestiones técnicas.

Su sistema posee dos características singulares. Al igual que el sistema de LokBox, permite el movimiento de la quilla  $\frac{3}{4}$  de pulgada adelante y atrás lo que incrementa enormemente su funcionalidad, permitiendo al usuario infinidad de ajustes. La segunda característica es estructural, ya que su cajetín traspasa la tabla de lado a lado desde el bottom hasta el deck.



Figura 5.12: Sección transversal de una tabla de surf con sistema Red-X. Fuente: finplug.com

La quilla se introduce en la ranura del cajetín y se fija mediante un tornillo que entra por la parte opuesta del cajetín como se muestra en la figura 5.12.

Dada la naturaleza del material empleado para la construcción del cajetín, el sistema si está correctamente instalado es el más rígido del mercado.

Las quillas compatibles con este sistema son todas de fibra de vidrio. La empresa consta de tecnología para fabricar quillas huecas, pero aún se encuentran en proceso de pruebas. El catálogo de modelos es considerable, ya que consta de 13 modelos diferentes de quillas donde el usuario puede elegir.

El sistema es difícil de instalar. Se usan unas plantillas con las que se hace la cavidad para el cajetín una vez glaseada la tabla. En dicha cavidad se introduce una notable cantidad de mezcla de resina y microbalones y posteriormente se pone el cajetín. Una vez hecho eso se retira el exceso de resina y se deja secar. Posteriormente se lijar los sobrantes del cajetín tanto en el bottom como en el deck para que quede liso con la superficie de la tabla.

El diseño de este sistema se encuentra en proceso de patente. Su coste por cajetín es de unos 9€, lo que supone un coste por tabla de 27€. A pesar de ser el sistema más caro de fijación, las quillas son ligeramente más baratas que las de la competencia por lo que el mínimo sobreprecio (5€ por tabla como mucho), queda compensado.

#### **5.4.2 Construcción**

El cajetín, según Tom O'Keefe está fabricado en un polímero denominado Dow Isoplast® de muy alto módulo elástico (1,86GPa) que hace que la unión de la quilla a la tabla sea muy rígida. Los cajetines se fabrican mediante inyección, lo que los hace fácilmente fabricables en grandes cantidades.

A diferencia de los cajetines de las competencias no incorpora un agujero roscado para el tornillo. Esto lo hace más fácil de fabricar pues no hay que mecanizar la rosca.

El tornillo de fijación está fabricado de una aleación de cobre resistente a la corrosión. La arandela que se pone en el tornillo está fabricada del mismo material que el tornillo. No los fabrica Daum Tooling, Inc pues resultaría muy caro.

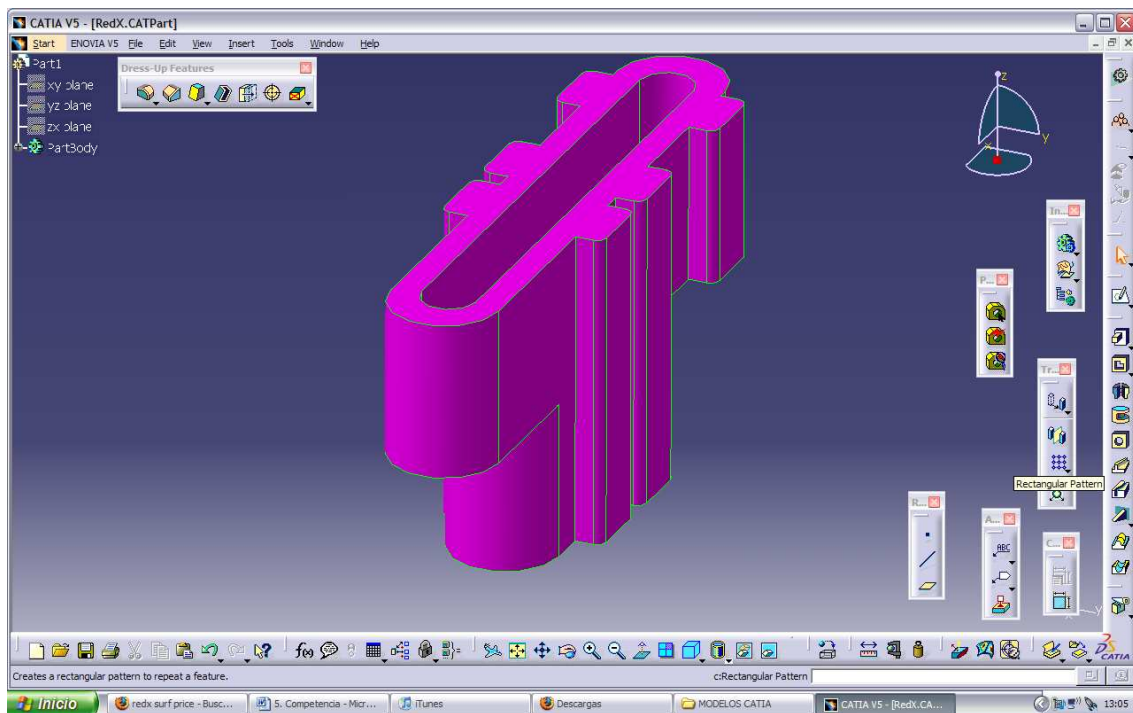


Figura 5.13: Modelo de cajetín Red-X en CATIA

## 5.4.2 Fallos

A pesar de que es el sistema más rígido de todos los que hay en el mercado, el cajetín Red-X presenta una importante serie de fallos en su diseño que se analizan a continuación.

- Debido al elevado módulo elástico del material con el que está fabricado el cajetín, si se hace presión sobre él, el foam que está en las cercanías de él se deforma y hunde de forma permanente. Como el cajetín no se deforma, la fibra que lo recubre se despegue de él. Esto es especialmente crítico en el deck, donde se apoyan los pies y es muy habitual que el foam se deforme. Esta separación de la fibra y el cajetín ocasiona vías de agua que pueden llegar al foam y deteriorarlo, por eso es necesario repararlo inmediatamente.
- Movimiento de la quilla. Ya que sólo dispone de un tornillo de sujeción y dada la capacidad de movimiento de la quilla, en caso de que ésta reciba un golpe, se puede mover cambiando la posición deseada por el usuario.
- Imposibilidad de usar grip. El grip es una pieza de espuma de diferentes densidades según el usuario que se pone en la cola o tail de la tabla y sirve para que el pie trasero no se resbale sobre el deck. Ya que en muchos casos las quillas suelen estar debajo de área ocupada por el grip, el uso del sistema Red-X y grip no pueden ser simultáneos.



*Figura 5.14: Tabla con grip en el tail. Fuente: surfshot.com*

- Dificultad de montaje. Debido a que el cajetín traspasa la tabla desde el bottom al deck, hay que lijar el sobrante de cajetín por ambos lados. Esto supone doble trabajo, además el deck suele ser curvo lo que dificulta todavía más el lijado. Si además se tiene en cuenta que el material es duro y por tanto su lijado más laborioso, supone que es el sistema que más tiempo cuesta instalar.
  
- Instalación defectuosa. Como se ha dicho anteriormente, la colocación de las quillas es crítica, dada la posibilidad de regulación de Red-X, se reduce un poco la posibilidad de error en su montaje. Pero para instalarlo hay que hacer un agujero bastante preciso de dos alturas, utilizando una plantilla. Esta plantilla a diferencia de Futures o LokBox no tiene cámara de vacío, por consiguiente se puede mover a los lados o en ángulo durante el proceso de instalación.

Este estudio de la competencia ha resultado muy interesante en cuanto a qué direcciones tomar en el diseño y cuales no. Se ha podido verificar que estructuralmente, el diseño elíptico de LokBox es el mejor, y eso se tendrá en cuenta en futuras fases. También se ha podido constatar que los sistemas LokBox y Red-X permiten regular ligeramente la posición de la quilla en ellos, dando al usuario un plus de customización.



## 6 PLIEGO DE CONDICIONES FUNCIONAL

Antes de diseñar cualquier tipo de producto es necesario para que el diseño sea adecuado, conocer las necesidades que el usuario tiene. Conociendo las necesidades se pueden implementar en el producto las características que las satisfagan.

Las características se recogerán en funciones, y éstas funciones son las que se estudian en el pliego de condiciones funcional. El pliego de condiciones funcional suele empezar en el estudio previo, conocido como pliego de condiciones de marketing, donde gracias a diferentes técnicas se han podido conocer algunas de las necesidades de los usuarios. En el caso concreto de éste producto, el pliego de condiciones de marketing no existe como suele hacerlo en otros mercados. Esto se debe a la naturaleza del producto así como a la morfología del mercado al que va a ser destinado.

No obstante, se han llevado a cabo estudios propios del pliego de condiciones de marketing como el análisis de la competencia o el estudio de las patentes existentes para diseños similares.

Además de las funciones identificadas en las fases previas de este proyecto, el pliego de condiciones funcional se completará con la ayuda del equipo de diseño que propondrá mediante diferentes técnicas creativas funciones adicionales que se cree debiera incorporar el producto.

Existen diferentes técnicas de desarrollar el pliego de condiciones funcional o PCF, como por ejemplo la desarrollada por el Instituto de Ingenieros de Producción de Gran Bretaña, que engloba multitud de aspectos

de diseño (27 para ser exactos) desde el ambiente en el que el producto diseñado se encontrará hasta su distribución. Otro método es el denominado Método RED y es el empleado en este PFC pues ha sido empleado por el autor anteriormente y se conoce su funcionamiento y efectividad.

## 6.1 Método RED

Para la aplicación eficiente del Método RED es necesario el estudio previo de la Necesidad. En capítulos anteriores se ha hablado de este tema, y la necesidad ha quedado claramente definida. Ahora bien, además de satisfacer las necesidades conocidas de los usuarios, el nuevo producto diseñado puede incorporar funciones que satisfagan necesidades desconocidas o no identificadas por los usuarios.

El Método RED identifica, recoge y transmite toda la información que puede resultar útil acerca del producto diseñado. Esta información que se recoge por decirlo de alguna manera “en bruto” tiene que ser analizada, cuantificada y valorada para que resulte útil para el diseñador.

El Método RED se divide en 4 fases que estudian a continuación:

- Búsqueda Intuitiva
- Ciclo Vital y Entorno
- Análisis Secuencial de los Elementos Funcionales
- Movimientos y Fuerzas
- Productos de Referencia
- Normas y Reglamentos

### **6.1.1 Búsqueda Intuitiva**

En esta primera fase que se lleva a cabo entre todos los componentes del equipo de diseño se suelen llegar a identificar en torno al 60% de las funciones del producto. Éstas funciones son las que componen el denominado pliego de condiciones funcional provisional que se completará más adelante.

A su vez, la Búsqueda Intuitiva se completa en diferentes fases:

#### ***6.1.1.1 Objetivos***

Los objetivos principales del producto que se está diseñando son los siguientes:

- Satisfacer la necesidad del cliente.
- Conseguir un producto rentable económicamente.

#### ***6.1.1.2 Documentación***

En los apartados anteriores de ésta memoria se han mostrado los resultados obtenidos de la encuesta realizada a diferentes surfistas. De dicha encuesta se han extraído algunas características que el usuario desearía encontrar en un nuevo producto.

También se han estudiado patentes relacionadas con el producto a diseñar para conocer los diseños patentados (y por tanto no copiarlos) así como fuente de inspiración para posibles especificaciones que podría tener el diseño. Las patentes consultadas se encuentran en los Anexos de ésta memoria.

Además de las patentes se ha realizado un estudio exhaustivo de los productos de la competencia para conocer tanto sus puntos fuertes como debilidades, siendo especialmente útiles éstas últimas para suplir la falta de experiencia del diseñador.

Por último se han estudiado diferentes artículos técnicos dedicados a las tablas de surf y su física, artículos sobre hidrodinámica y publicaciones técnicas. Un resumen de los artículos técnicos se encuentra en los Anexos de ésta memoria, y el resto de documentación con la que se ha trabajado se ha incorporado en la Bibliografía.

#### **6.1.1.3 Funciones**

Las funciones extraídas de la encuesta realizada, así como las funciones que el autor ha valorado gracias a su experiencia y tras un brainstorming se enumeran a continuación:

- Ser rígido transversalmente.
- Ser ligero.
- Ser resistente.
- Ser útil.
- Ser sencillo de manipular.
- No necesitar herramientas.
- Ser duradero.
- Ser barato.
- Ser bonito.
- Cumplir con las patentes existentes.
- Disponer de un sistema de instalación fácil y a prueba de fallos.
- Ser eficaz.

- Ser fiable.
- Tener la misma flexibilidad que la tabla longitudinalmente.
- Tener el tamaño adecuado.
- Ser ajustable longitudinalmente y en ángulos de ataque y caída.
- Oler bien.

#### **6.1.1.4 Crítica**

De los requerimientos que se han valorado algunos han sido descartados y otros suponen grandes desafíos para el diseño. Algunos ejemplos son:

- La durabilidad del diseño estará directamente relacionada con el entorno en el que se usará (agresivo) y el uso que se le de. Este requerimiento se estudiará en profundidad a continuación.
- Los requerimientos de rigidez longitudinal y tamaño adecuados pueden resultar complejos de definir, para ello se realizará un estudio informático mediante elementos finitos.
- Conseguir no interferir en ninguna patente existente es complicado pues hay muchos mecanismos patentados. Habrá que prestar especial atención a la descripción de las patentes.
- La rigidez transversal es un requerimiento crítico. El diseño tiene que ser sobre todo rígido pues es lo que ha impulsado este proyecto y no puede verse comprometido en ningún caso por otros requerimientos secundarios.
- El ser ajustable longitudinalmente no es un reto realmente importante para el diseño, pero el ajuste de deriva y ángulo de ataque puede ser extremadamente complejo y además, resultar excesivo para la mayoría de usuarios.

- Considerar como requerimiento que el material tenga buen olor puede resultar chocante al lector. No se pretende que el producto esté perfumado, lo que se quiere conseguir incorporando este requerimiento es que (avanzando en el proyecto, el cajetín seguramente se fabricará en algún tipo de polímero) el plástico empleado no huela mal. Algunos plásticos suelen tener un olor penetrante y desagradable y precisamente eso es lo que se quiere evitar.

#### **6.1.1.5 Pliego de Condiciones Funcional Provisional (PCFP)**

- Tener una rigidez lateral tal, que sea mayor que los sistemas de la competencia y lo más parecida posible a las quillas fijas.
- Tener el tamaño y la flexibilidad longitudinal adecuadas para que no interfiera con el *flex* de la tabla de surf.
- No necesitar herramientas y ser sencillo de manipular: no tener piezas demasiado pequeñas o mecanismos complejos.
- Ser ligero, no pesar más de 50gr por cajetín.
- Contar con un sistema de instalación sencillo y que disponga de un mecanismo a prueba de fallos.
- Tener un aspecto atractivo.
- Material con buen olor.

### **6.1.2 Ciclo Vital y Entorno**

En esta fase se estudian las diferentes etapas por las que pasará el producto en su vida y las características del entorno en el que se usará.

Conociendo ésta información se podrá optimizar el diseño añadiendo al producto los requerimientos apropiados.

#### ***6.1.2.1 Ciclo Vital***

- Fabricación/Ensamblaje.
- Empaquetado.
- Almacenamiento.
- Distribución.
- Desempaquetado.
- Instalación en tabla de surf.
- Montaje de quillas. (Este proceso puede repetirse mucho, tanto como las veces que se use la tabla de surf)
- Uso en el agua.
- Se moja.
- Posibles golpes con el fondo (arena o roca) y/o con otras tablas.
- Fin de la sesión de surf. Sale del agua.
- Desmontaje de quillas. (Este proceso al igual que el montaje puede repetirse tantas veces como se use la tabla de surf)
- Se mantiene húmedo.
- Se seca.

#### ***6.1.2.2 Entorno Interior***

Dada la naturaleza del producto, tendrá que estar fabricado en un material suficientemente rígido para soportar los esfuerzos con una mínima deformación. Además, el mecanismo de sujeción de la quilla deberá aguantar toda la vida del producto, no puede desgastarse ni deteriorarse.

Convendría que no tenga compartimentos interiores donde el agua, sal o arena queden atrapados y causen el deterioro del producto o de alguno de sus componentes.

### ***6.1.2.3 Entorno Exterior***

El entorno exterior del producto será bastante agresivo. Se encontrará dependiendo del usuario, en condiciones de aguas y ambientes fríos (agua a 6°C y temperaturas ambiente bajo cero) o muy cálidas (aguas a 30°C y temperaturas de hasta 40°C). Además el agua de mar es salada, lo que aumentará la agresividad del entorno sobremanera. Habrá que evitar en la medida de lo posible las piezas metálicas y en caso de no haber elección, utilizar metales convenientemente tratados para la corrosión.

La arena y el sol (especialmente en lugares tropicales) serán factores importantes a tener en cuenta. La gran mayoría de surfistas cuando apoya la tabla en el suelo, lo hace de forma que el bottom mire hacia arriba. Esto es así para evitar que el sol caliente la parafina que se pone en el deck y la derrita. En esa posición el sol incidirá directamente sobre el cajetín, por tanto es interesante que sea resistente al envejecimiento por radiación solar tanto en cuanto a propiedades mecánicas se refiere como a aspecto.

El material del cajetín tiene que ser de una naturaleza tal que se pegue bien con resinas de poliéster y epoxi pues son las más utilizadas en la fabricación de tablas de surf. Una unión pobre entre cajetín y fibra causaría graves problemas cuya solución además es muy complicada.



#### **6.1.2.4 Funciones a añadir al PCFP**

- No deteriorarse por el cambio de quillas.
- Embalaje adecuado que no deteriore el producto por un mal almacenaje.
- Ser de un material duradero: Estar preparado para el entorno en el que se va a utilizar: humedad, sal, frío y calor.
- No disponer de compartimentos o recovecos que puedan almacenar agua o arena tras el secado.
- No deterioro del mecanismo de fijación: El mecanismo de fijación de la quilla tiene que ser tan duradero como la tabla de surf.
- No sufrir envejecimiento por la radiación solar ni mecánica y ni visualmente.
- Fabricado en material compatible con resinas epoxi y poliéster.

### **6.1.3 Análisis Secuencial de los Elementos Funcionales**

En esta fase del Método RED tratamos de realizar un análisis de las operaciones y secuencia de funciones que seguirá el producto que se está diseñando.

#### **6.1.3.1 Reposo**

El cajetín se mantendrá fijo en la tabla de surf. Evitará que el agua o la humedad ambiental se filtren al interior de ésta. Tiene que mantener también la quilla fija a la tabla de surf.

### **6.1.3.2 Trabajando**

Existen dos condiciones de trabajo para el cajetín: Cuando está siendo manipulado para soltar o instalar una quilla y cuando el usuario está haciendo surf y por tanto el cajetín recibe los esfuerzos provenientes de la quilla.

Dada la naturaleza de las condiciones de trabajo, ambas se estudian cuantitativamente en el siguiente apartado.

#### **El Análisis Secuencial**

- Mantener la quilla fija en el cajetín.
- Transmitir los esfuerzos de la quilla a la tabla.
- No generar vibraciones ni holguras.
- En caso de esfuerzo alto, tiene que romperse la quilla antes que el cajetín.

### **6.1.3.3 Funciones a añadir al PCFP**

- Fijar la quilla sin holguras ni vibraciones.
- Mantener la quilla fija en el cajetín.
- Romper la quilla antes que el cajetín.

### **6.1.4 Movimientos y Esfuerzos**

En esta fase del Método RED se estudian cuantitativamente los movimientos y esfuerzos a los que está sometido a lo largo de su vida el producto.

En este caso particular y debido a la naturaleza del producto en diseño, existen dos tipos de funcionamiento bien diferenciados y cada uno con sus necesidades, por ello se estudian por separado.

#### ***6.1.4.1 Montaje/Desmontaje de la quilla***

Cuando el usuario esté manipulando el cajetín para montar una quilla o desmontar una quilla que está dentro de él. No podrá tener piezas que se puedan soltar fácilmente. Un sistema sin herramientas como se ha visto anteriormente, sería lo ideal. Si además no tuviese tornillos, uno de los grandes problemas que causan sería eliminado del diseño: el deterioro de los tornillos.

Aunque los surfistas están acostumbrados a diferenciar las quillas dependiendo de en qué lado deban ir, podría interesar tener un sistema a prueba de fallos para el montaje de éstas, ya que por descuido un usuario podría confundirse.

La gran mayoría de veces las quillas se montan o desmontan empleando una sola mano, ya que la otra sujeta la tabla para que no se mueva y deteriore (con el contacto con el suelo, por ejemplo), o bien porque se mantiene en el aire. Sería apropiado por tanto, que la maniobra de montaje y desmontaje pueda realizarse con una sola mano, no obligando así al usuario a colocar la tabla sobre el suelo.

#### ***6.1.4.2 Funciones a añadir al PCFP***

- No tener piezas fácilmente desmontables.

- No tener tornillos.
- Disponer de un sistema de montaje a prueba de fallos.
- Montaje y desmontaje con una sola mano.

#### ***6.1.4.3 Esfuerzos transmitidos por la quilla***

Los esfuerzos transmitidos por la quilla al cajetín cuando se está haciendo surf son clave en el diseño. En el brainstorming de la Búsqueda Intuitiva ya se habló sobre las funciones que eran necesarias en el diseño para que el producto fuese aceptado por los usuarios. Esas funciones son prioritarias en el diseño y ya han sido definidas. Como son funciones directamente relacionadas con las propiedades mecánicas del diseño, es necesario conocer la magnitud de los esfuerzos a los que estará sometida la quilla a lo largo de su vida útil.

Una vez conocidos éstos esfuerzos podrán cuantificarse algunos de las funciones del diseño que serán necesarias para que se cumplan los objetivos deseados.

En esta fase lo que se va a hacer va a ser cuantificar esos esfuerzos mediante diferentes técnicas.

Determinar los esfuerzos que soporta una quilla no es una tarea nada sencilla. Depende de numerosas variables como la velocidad del surfista, el ángulo de ataque de la quilla, el ángulo de inclinación de ésta, tamaño, geometría, densidad del agua y otras muchas variables complejas de determinar.

Para obtener un valor numérico de los esfuerzos que soporta una quilla en una tabla de surf se han tenido que hacer numerosas suposiciones que se adjuntan en el Anexo 4. Esas suposiciones dan lugar a los siguientes valores numéricos:

<b>Arrastre</b>	<b>1,99Kg</b>
<b>Sustentación</b>	<b>39,73Kg</b>

Como se puede apreciar, y era de esperar, el esfuerzo lateral de la quilla es muy superior al que soporta longitudinalmente.

#### **6.1.5 Productos de referencia**

En esta fase, se estudian los productos de producción propia así como productos de la competencia en busca de soluciones a problemas que existan en el diseño.

El diseño de este producto, es único y no hay ninguna empresa que disponga de otros productos similares para la búsqueda de soluciones.

En cuanto a la competencia, en el capítulo anterior, se ha hecho un estudio bastante exhaustivo de los diseños de la competencia. Sobre todo se han estudiado los puntos fuertes y los fallos frecuentes de cada uno de los diseños. En base a eso se han realizado algunos bocetos que posteriormente tendrán que

ser validados y perfeccionados. Algunos de esos bocetos se muestran en el capítulo de Diseño Conceptual.

#### **6.1.6 Normas y Reglamentos**

Todos los productos diseñados han de cumplir las normas y reglamentos estatales e internacionales para evitar futuros problemas. Además, si el producto diseñado cumple ciertos reglamentos en cuanto a calidad se refiere, aporta al producto un valor añadido que suele ser bien valorado por el usuario/comprador.

No existe una norma, o al menos no se ha podido encontrar, referente a material deportivo náutico. Por lo tanto se considera que no hay normativas específicas que puedan acarrear la incorporación de más requerimientos funcionales al diseño.

Si que existe normativa como es lógico en cuanto a navegación de embarcaciones. Las tablas de surf en cuanto a reglamento se refiere están catalogadas como embarcaciones de recreo. No obstante, el producto que se está diseñando es sólo un elemento constitutivo de la tabla y por tanto no está directamente influenciado por este reglamento.

Lo que resulta obvio es que dado que el producto estará en contacto con personas y con el agua, no puede ser nocivo para la salud de los humanos ni para los seres vivos que habitan en el mar.

Además, no podrá tener bordes, partes o elementos cortantes innecesarios que sean peligrosos para el usuario o otras personas que pudieran encontrarse en el mar.

Aunque no se encuentre en la normativa, puede ser interesante que esté fabricado con algún material o materiales “verdes”. No sólo podría ser más ecológico sino que podría a la larga ser más barato. Además sería un valor añadido del producto frente a la competencia.

En cuanto a la calidad nos certificaremos en la normativa ISO 9001:2008.

#### ***6.1.6.1 Funciones a añadir al PCFP***

- Material no nocivo para personas ni animales.
- Geometría segura.
- Material “verde”.

## **6.2 Pliego de Necesidades**

Tras la aplicación del Método RED, las 25 necesidades identificadas para el producto diseñado son las siguientes:

- Que tenga una rigidez lateral tal, que sea mayor que los sistemas de la competencia y lo más parecida posible a las quillas fijas.
- Que tenga el tamaño y la flexibilidad longitudinal adecuadas para que no interfiera con el *flex* de la tabla de surf.

- Que no se necesiten herramientas y que sea sencillo de manipular: que no tenga piezas demasiado pequeñas o mecanismos complejos.
- Que sea ligero, no pesar más de 50gr por cajetín.
- Que conste con un sistema de instalación en la tabla sencillo y que disponga de un mecanismo a prueba de fallos.
- Que tenga un aspecto atractivo.
- Que sea de una material con buen olor.
- Que no se deteriore por el cambio de quillas.
- Que el embalaje sea adecuado, que no deteriore el producto por un mal almacenaje.
- Que sea de un material duradero: Estar preparado para el entorno en el que se va a utilizar: humedad, sal, frío y calor.
- Que no disponga de compartimentos o recovecos que puedan almacenar agua o arena tras el secado.
- Que no se deteriore por el uso el mecanismo de fijación: El mecanismo de fijación de la quilla tiene que ser tan duradero como la tabla de surf.
- Que no sufra envejecimiento por la radiación solar ni mecánica y ni visualmente.
- Que esté fabricado en material compatible con resinas epoxi y poliéster.
- Que fije la quilla sin holguras ni vibraciones.
- Que mantenga la quilla fija en el cajetín.
- Que rompa la quilla antes que el cajetín.
- Que no permita el filtrado de agua o humedad al interior de la tabla.
- Que no tenga piezas fácilmente desmontables.
- Que no tenga tornillos.



- Que disponga de un sistema de montaje a prueba de fallos.
- Que se pueda montar y desmontar con una sola mano.
- Que el material no sea nocivo para personas ni animales.
- Que la geometría sea segura.
- Que esté fabricado en un material “verde”.

## 7. PRIORIZACIÓN DE REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

Para facilitar la elaboración del QFD en el capítulo siguiente, se creído necesaria la jerarquización de los requerimientos funcionales obtenidos en el Pliego de Condiciones Funcional.

Se considera que existen tres tipos de funciones: primarias, secundarias y terciarias. Las primarias son aquellas fundamentales en el diseño del producto, mientras que las terciarias son funciones que tienen que cumplirse, pero pueden ser ligeramente sacrificadas en beneficio de una función de mayor prioridad.

La clasificación de estas funciones ha sido llevada a cabo por el autor de este proyecto. Cabe destacar que éste, al igual que el QFD es un proceso que debe llevarse a cabo entre todos los integrantes del proyecto de diseño, ya que en los diferentes puntos de vista de los diseñadores se encuentra la riqueza del propio diseño. Lamentablemente y dado que éste se trata de un Proyecto de Final de Carrera, el equipo de diseño está compuesto por una única persona. Para solventar esta carencia, el autor, además de realizar una encuesta a surfistas anónimos, ha mantenido conversaciones continuas con surfistas de su entorno y profesionales del sector que se han interesado en el proyecto. Esta acción tiene como propósito que los gustos, opiniones y experiencias de otras personas además del propio autor se encuentren reflejadas en el diseño final.

La clasificación de los requerimientos funcionales o funciones se hace a continuación.

## 7.1 Funciones Primarias

Éstas son las funciones que el diseño final deberá cumplir. Son las más importantes y las que el cliente más va a valorar en primera instancia, por tanto hay que ser especialmente exigente con ellas.

- Que tenga una rigidez lateral tal, que sea mayor que los sistemas de la competencia y lo más parecida posible a las quillas fijas.
- Que fije la quilla sin holguras ni vibraciones.
- Que mantenga la quilla fija en el cajetín.
- Que el material no sea nocivo para personas ni animales.

## 7.2 Funciones Secundarias

Las funciones secundarias, sin ser tan importantes o críticas como las primarias tienen gran peso en el diseño. Tienen que cumplirse de la forma más eficiente posible, pero pueden sacrificarse ligeramente a favor de una función primaria.

- Que tenga el tamaño y la flexibilidad longitudinal adecuadas para que no interfiera con el *flex* de la tabla de surf.
- Que no se necesiten herramientas y que sea sencillo de manipular: que no tenga piezas demasiado pequeñas o mecanismos complejos.
- Que sea ligero, no pesar más de 50gr por cajetín.
- Que no se deteriore por el cambio de quillas.
- Que sea de un material duradero: Estar preparado para el entorno en el que se va a utilizar: humedad, sal, frío y calor.

- Que no disponga de compartimentos o recovecos que puedan almacenar agua o arena tras el secado.
- Que no se deteriore por el uso el mecanismo de fijación: El mecanismo de fijación de la quilla tiene que ser tan duradero como la tabla de surf.
- Que no sufra envejecimiento por la radiación solar ni mecánica y ni visualmente.
- Que esté fabricado en material compatible con resinas epoxi y poliéster.
- Que rompa la quilla antes que el cajetín.
- Que no permita el filtrado de agua o humedad al interior de la tabla.
- Que la geometría sea segura.

### 7.3 Funciones Terciarias

Las funciones terciarias no se deben despreciar en ningún caso por pertenecer al último grupo. Su importancia en el diseño es considerable, y es posible que las diferencias en ellas sea la diferencia entre el éxito del diseño o su fracaso, por tanto habrá que trabajar de forma aplicada sobre ellas.

- Que conste con un sistema de instalación en la tabla sencillo y que disponga de un mecanismo a prueba de fallos.
- Que tenga un aspecto atractivo.
- Que sea de una material con buen olor.
- Que el embalaje sea adecuado, que no deteriore el producto por un mal almacenaje.
- Que no tenga piezas fácilmente desmontables.

- Que no tenga tornillos.
- Que disponga de un sistema de montaje a prueba de fallos.
- Que se pueda montar y desmontar con una sola mano.
- Que esté fabricado en un material “verde”.

## 8 QFD

Es posible fabricar un producto con unas excelentes prestaciones, a un bajo precio y, sin embargo, fracasar por no tener la acogida esperada en el mercado. Esta situación indicaría que el diseño se ha hecho a espaldas del cliente potencial o que, aún habiendo intentado conocer las expectativas de éste, se ha fracasado a la hora de traducirlas a características del producto.

Para que el diseño de un producto sea exitoso no es necesario por tanto identificar las necesidades del cliente, hay que ser capaz de plasmar esas necesidades expresadas y latentes en el diseño final. Para ello, el diseño una vez más es pieza fundamental en el éxito o fracaso de un producto.

El QFD, Quality Function Deployment (en castellano, Despliegue de la Función Calidad) supone una metodología que permite sistematizar la información obtenida del usuario hasta llegar a definir las características del producto adaptándolas al mercado. Facilita además obtener información sobre qué aspectos del producto se deben mejorar o son más importantes. Para ello, tiene en cuenta las valoraciones del cliente sobre esas variables referidas a la propia empresa y a la competencia.

Se pueden definir 3 objetivos principales del QFD:

- Traducir las demandas expresadas y latentes del cliente al producto o servicio. Es decir, no diseñar a espaldas del cliente.
- Obtener una calidad excelente de un producto o servicio.
- Reducir el periodo de lanzamiento de un producto.

Su objetivo final, hacia donde se dirigen estos tres mandamientos es la obtención de una Calidad de Diseño de un producto/servicio excelente mediante la conversión de las necesidades del cliente en Características de Calidad adecuadas, sin omisiones ni elementos superfluos.

Si bien en este caso reducir el periodo de lanzamiento no es vital, ya que este producto no se va a fabricar al menos a corto plazo, no debe de ser un aspecto despreciable. Reducir costes y plazos supone un valor añadido para el cliente aumentando su satisfacción. Y este hecho es fundamental en la Calidad Total.

Para conseguir esto no basta sólo con hacer que las expectativas del cliente sean las que condicionen el diseño, sino también el proceso de fabricación. Por otro lado, es importante que la dirección de la empresa esté concienciada acerca de la importancia que tiene la calidad en todo el proceso de producción del producto. Pero yendo más allá, no hay que conformarse con que sólo la dirección esté implicada; lo ideal es conseguir que todo el personal participante en la fabricación y diseño del producto se involucre con este concepto, que no es otro que el de la Calidad Total. Se busca la disminución de costes del producto, la disminución de los tiempos de fabricación, la reducción de posibles defectos y, todo ello destinado a un único objetivo final: un mayor grado de satisfacción del cliente. En resumidas cuentas, el QFD es una forma de organizar la gestión de la Calidad Total.

El QFD no es una técnica milagrosa por si sola, y necesita de ciertos factores clave para que sea satisfactorio:

- Apoyo gerencial.
- Plazos adecuados para la obtención de resultados.

- Motivación adecuada para el equipo de trabajo.
- Planteamiento correcto.

Sin que estos factores no son tenidos en cuenta, son ignorados o sencillamente no se les presta la suficiente atención, difícilmente el QFD se realizará con éxito.

Para llevar a cabo esta técnica hay que partir de lo que el cliente quiere, algo que ya se sabe gracias a la encuesta que se hizo con anterioridad y al Pliego de Condiciones Funcional, también realizado anteriormente. Siendo ese el punto de partida, lo primero que se debe hacer es traducir las palabras del cliente a requisitos del cliente, cuantificar esos requisitos.

Nótese que el concepto de cliente es muy amplio, yendo más allá del usuario final del producto. Como se ha indicado repetidas veces, abarca a cualquier persona o actividad que tenga relación funcional con el producto. En este caso particular, no sólo es cliente el surfista que va a practicar surf, también es cliente el *shaper* (artesano que fabrica la tabla de surf manualmente) que tiene que instalar el cajetín o la quilla en la tabla de surf. Ambos clientes pueden tener necesidades parecidas o totalmente dispares, y todas ellas han de ser valoradas y estudiadas.

En la siguiente tabla se muestra el resultado de esa conversión de palabras del cliente a requerimientos funcionales:

	Palabras del cliente	Requisitos del cliente
1	Que tenga una rigidez lateral tal, que sea mayor que los sistemas de la competencia y lo más parecida posible a las quillas	Que se deforme poco lateralmente



	fijas.	
2	Que tenga el tamaño y la flexibilidad longitudinal adecuadas para que no interfiera con el <i>flex</i> de la tabla de surf.	Que tenga la misma flexibilidad que la tabla de surf
3	Que no se necesiten herramientas y que sea sencillo de manipular: que no tenga piezas demasiado pequeñas o mecanismos complejos.	Que tenga un diseño simple. Que se accione con una mano. Que no tenga tornillos/piezas sueltas.
4	Que sea ligero	Que no pese más de 50gr por cajetín.
5	Que conste con un sistema de instalación en la tabla sencillo y que disponga de un mecanismo a prueba de fallos.	Que tenga unas herramientas de instalación sencillas y eficaces. Que las instrucciones sean claras. Que las herramientas sean robustas y duraderas.
6	Que tenga un aspecto atractivo.	Que sea de colores o traslúcido.
7	Que sea de una material con buen olor.	Que tenga un olor neutro.
8	Que no se deteriore por el cambio de quillas.	Que sea resistente al desgaste y robusto. Que no sea frágil
9	Que el embalaje sea adecuado.	Que el embalaje no deteriore el producto. Que no sea engorroso de retirar.
10	Que sea de un material duradero.	Que sea resistente a los impactos, esfuerzos y corrosión .
11	Que no disponga de compartimentos o recovecos que puedan almacenar agua o arena tras el secado.	Que tenga un diseño compacto.  Que no tenga agujeros innecesarios.
12	Que no se deteriore por el uso el mecanismo de fijación.	Que no adquiera holguras o desajustes.
13	Que no sufra envejecimiento	Que sea resistente a la radiación solar Que sea resistente a la sal.
14	Que esté fabricado en material compatible con resinas epoxi y poliéster	Que esté fabricado en material compatible con resinas epoxi y poliéster
15	Que fije la quilla sin holguras ni vibraciones	Que las dimensiones y tolerancias sean adecuadas.
16	Que mantenga la quilla fija en el cajetín	Que sea eficaz.

17	Que rompa la quilla antes que el cajetín	<b>Mayor Módulo Elástico que el material de la quilla (fibra de vidrio)</b>
18	Que no permita el filtrado de agua o humedad al interior de la tabla	<b>Que tenga una geometría homogénea y sin puntos angulosos.</b>
19	Que no tenga piezas fácilmente desmontables	<b>Que tenga un diseño compacto y robusto.</b>
20	Que no tenga tornillos	<b>Que no tenga tornillos.</b>
21	Que disponga de un sistema de montaje a prueba de fallos	<b>Que la quilla tenga ranuras asimétricas.</b>
22	Que se pueda montar y desmontar con una sola mano	<b>Que el cajetín sea asimétrico.</b>
23	Que el material no sea nocivo para personas ni animales	<b>Que la quilla se pueda montar y desmontar con una sola mano.</b>
24	Que la geometría sea segura	<b>Que el material no sea nocivo para personas ni animales.</b>
25	Que esté fabricado en un material "verde"	<b>Que no tenga bordes cortantes o afilados.</b>
		<b>Que no sea contaminante.</b>

Antes de llevar a cabo la ponderación de funciones se han priorizado todos los requisitos del cliente para trabajar con los que verdaderamente son importantes y dotan de excelencia al producto. Para eso se ha confeccionado otra tabla, utilizando el método de análisis jerárquico propuesto por Thomas Saaty, sencillamente conocido como SAATY. Se trata de un procedimiento de comparación por pares de los criterios que parte de una matriz cuadrada en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de criterios a ponderar, en este caso requisitos del cliente. Así se establece una matriz de comparación entre pares de requisitos, asignando un número dependiendo de la importancia de un requisito frente a otro. Para facilitar el cálculo, se han elegido los siguientes números:

- 1 = Requisito igual de importante
- 2 = Requisito más importante

- 4 = Requisito mucho más importante

Si un requisito A es más importante que B, se le asignará el valor dos. Al asignar este valor se está también asignando la importancia de B frente a A, que no es otra que  $\frac{1}{2}$ , valor del elemento simétrico al primero en la matriz construida. Análogamente, si A es mucho más importante que B, entonces al primero se le asignará el valor 4 y al segundo  $\frac{1}{4}$ .

La matriz construida mediante esta técnica y de la que se han podido extraer los requisitos más importantes para el cliente, minimizando las valoraciones subjetivas, se adjunta en los anexos de éste informe como “QFD - Priorización de Requisitos del Cliente”.

Como se puede observar en dicha tabla, los diez requisitos más con más peso para los clientes son:

- Que se deforme poco lateralmente.
- Que tenga la misma flexibilidad longitudinal que la tabla de surf.
- Que sea resistente a los sobreesfuerzos, impactos y corrosión.
- Que no adquiera holguras o desajustes.
- Que esté fabricado de un material que sea compatible con resinas Epoxi o Poliéster.
- Que las dimensiones y tolerancias sean las adecuadas.
- Que sea eficaz.
- Que tenga mayor Módulo Elástico que el material de la quilla.
- Que no sea nocivo para personas ni animales.
- Que no sea contaminante.

Los requerimientos ya están priorizados. El siguiente paso trata de dar solución a esos requerimientos. Para que resulte más comprensible, mediante el Pliego de Condiciones Funcional y la primera fase del QFD hemos determinados los QUEs que quiere el cliente. Ahora se debe determinar la forma en la que se van a satisfacer esas necesidades. A éstas soluciones las llamaremos COMOs.

Evidentemente, no todos los requerimientos se pueden cuantificar o expresar con un COMO. Algunos como “Que sea robusto” dependerán del diseño general. Lo que se pretende mediante la construcción de esta tabla es cuantificar de forma ordenada y clara la forma de satisfacer los requerimientos identificados.

La solución a estos requerimientos planteados viene dada en una tabla que se adjunta en los anexos de este informe y tiene como nombre “Tabla de características de diseño. COMO’s”. Esta tabla da valores numéricos, es decir, cuantifica los requerimientos identificados para proporcionar una solución técnica apropiada. Estos valores tienen unas tolerancias, lo que significa que no son exactos sino más bien, que se pueden modificar (unos más que otros) para satisfacer otros requerimientos simultáneamente. Por ejemplo: El requerimiento “que sea resistente al desgaste” podría ser satisfecho empleando un material como el hierro, pero éste material iría totalmente en contra del requerimiento “que sea resistente a la corrosión”. Así, la habilidad del diseñador establecerá el equilibrio adecuado para la satisfacción de todos los requerimientos identificados en las fases previas.

Ya que a veces la habilidad del diseñador no es suficiente, y en cualquier caso, de cuanta más información se disponga mayor probabilidad de éxito en el diseño se tendrá, se ha construido una nueva tabla denominada “Casa de la

Calidad". En esta última tabla lo que se hace es una ponderación QUÉ/CÓMO. Al igual que anteriores tablas, esta también se encuentra en los anexos de este proyecto.

La información extraída de la "Casa de la Calidad" se ha utilizado para optimizar las funciones del producto, en este caso el cajetín, y dotarlo de todos los requerimientos deseados por el cliente. Ha resultado por tanto una herramienta fundamental en la optimización del diseño y en el aprovechamiento de recursos para dotar al diseño de las características que el cliente/usuario más valorará.

## 9. DISEÑO CONCEPTUAL

En la fase de diseño conceptual se ha tratado de partiendo de la información obtenida en las fases previas como Estudio de Mercado, Pliego de Condiciones Funcional y QFD, realizar el boceto que mejor se ajuste a las necesidades expresadas por el cliente.

Es la fase en la que más interfiere la creatividad del equipo de diseño, dando solución a las necesidades manifiestas de los usuarios.

Se ha trabajado mucho en realizar diseños que satisfagan las necesidades de rigidez axial, flexibilidad longitudinal y el anclado sin herramientas pues son pilares básicos del diseño de este producto y difícilmente modificables en fases posteriores.

Si bien el diseño del cajetín exterior en todos los bocetos planteados es similar, son las diferencias sutiles a primera vista, pero de gran impacto en el diseño y comportamiento del producto las que los diferencian. Además del diseño del cajetín, los bocetos incluyen soluciones al sistema de sujeción bastante dispares.

Una vez realizados todos los diseños conceptuales, el método empleado para seleccionar el mejor diseño se conoce como “Técnica de Selección de Conceptos”, desarrollada por el profesor S. Pugh de la Universidad Laboral de Tecnología de Londres que pretende minimizar los riesgos de desechar las mejores ideas en el momento de selección de las mismas.

Para utilizar esta técnica, se realiza una tabla en la que se evalúan parte de los requerimientos funcionales de cada uno de los bocetos que se han realizado. Los requerimientos funcionales elegidos para su elaboración, son aquellos que en mayor medida pueden influir a la hora de diseñar los bocetos y que son decisivos para su elaboración técnica.

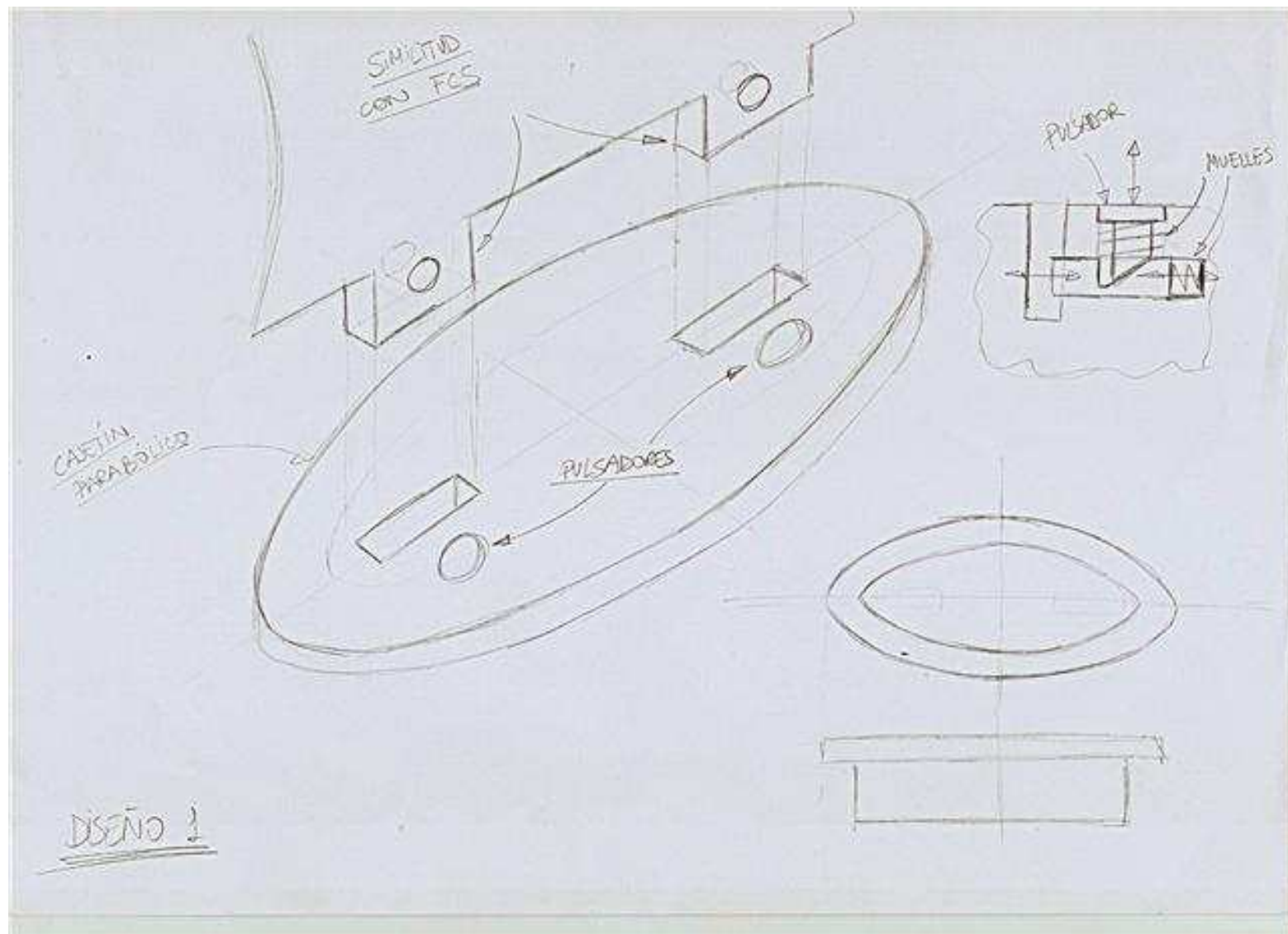
A continuación se muestran 3 diferentes propuestas de diseño que dan solución a las necesidades identificadas de diferentes formas.

## **9.1 Boceto 1**

El primer boceto se caracteriza en gran parte por utilizar dos ranuras, al estilo de FCS. Esto no es por otra razón que compatibilidad con FCS, el fabricante líder de quillas mundial.

Además de esa primera característica, se puede apreciar la solución de fijación propuesta: dos pulsadores que accionan sendos pasadores. Éstos al ser accionados desplazan los pasadores liberando la quilla. En estado de reposo, cuando no se acciona el pulsador el pasador se hunde en la cavidad de la quilla, fijándola al conjunto del cajetín.

La forma elíptica en planta del cajetín tiene esa forma para repartir mejor los esfuerzos que soporta la quilla y transmite a la tabla, y para soportar mejor los sobreesfuerzos sin que se deteriore el cajetín o la unión a la tabla. En definitiva, para tener una mayor rigidez axial, que es lo que los usuarios han manifestado que desean.

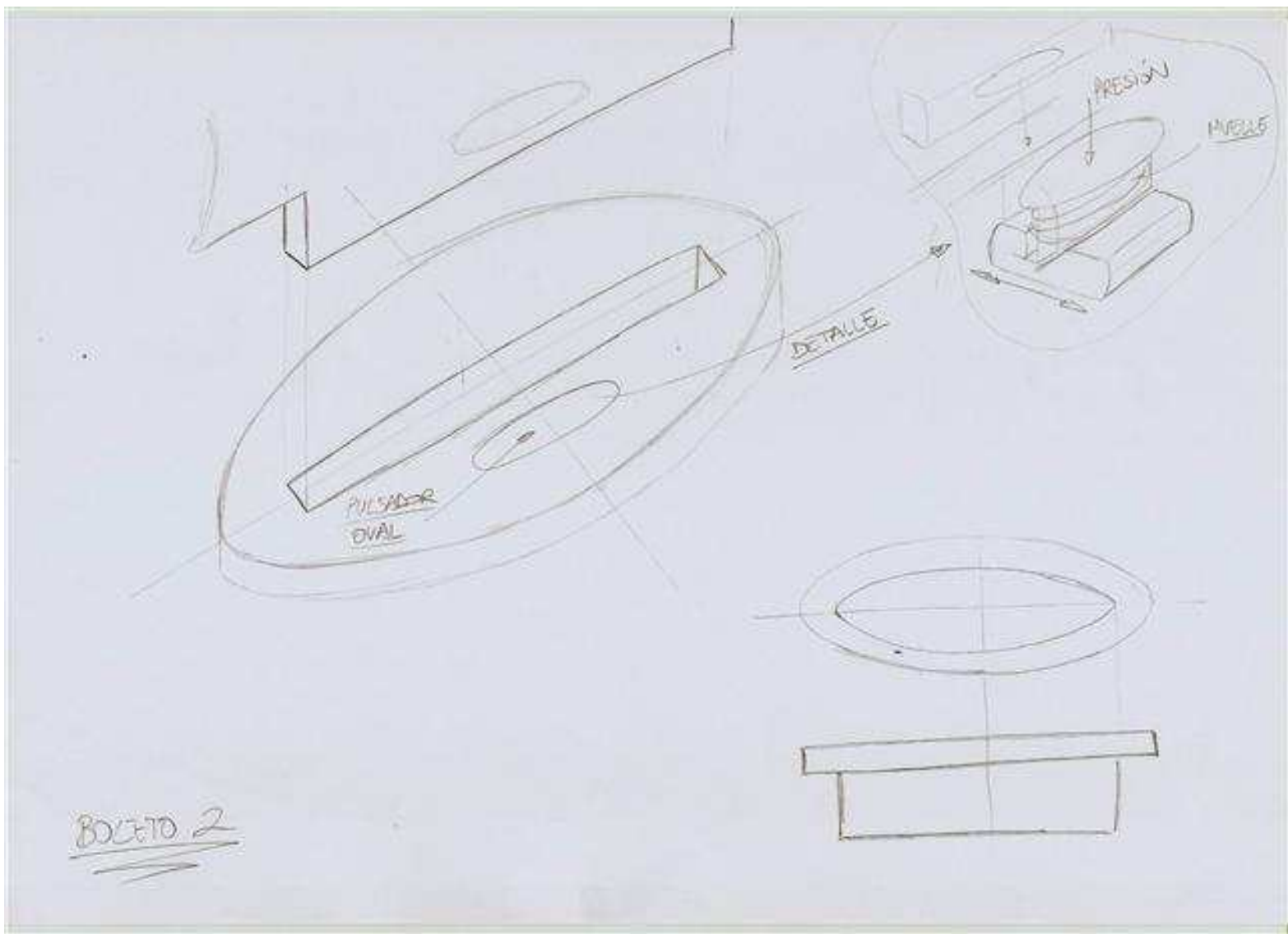




## 9.2 Boceto 2

El denominado Boceto 2, a diferencia del Boceto 1, presenta una única ranura longitudinal y un único pulsador de forma ovalada, eso si, de mayor tamaño que el anterior. El mecanismo de éste pulsador es idéntico al descrito anteriormente. El tamaño y geometría exterior del cajetín son idénticos a los del Boceto 1.

El motivo principal de la modificación de 2 pulsadores a 1 es principalmente la sencillez de manipulación. Un pulsador es mucho más sencillo de manipular que 2. Además de ser más sencillo de manipular, la quilla al presentar una única base de mayor sección ofrece más rigidez transversal, además de disminuir los esfuerzos de ésta.

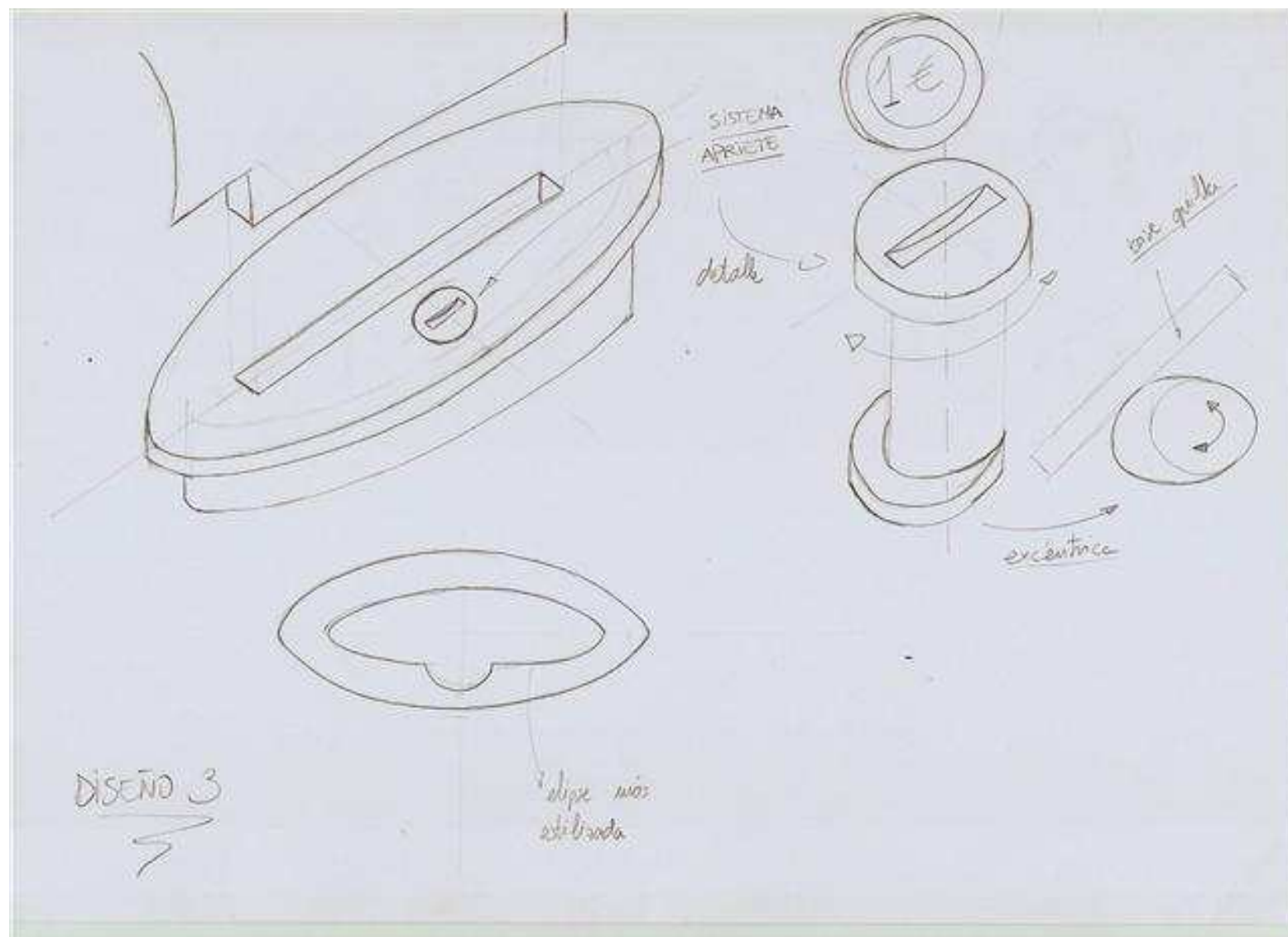


### 9.3 Boceto 3

El Boceto 3 difiere frente al 1 y 2 en dos aspectos. Por un lado propone una elipse más estilizada y por otro, sustituye el mecanismo de pulsador por una excéntrica.

La elipse más estilizada pretende tener menor impacto en las cualidades de flexibilidad de la tabla. Ser, por así decirlo, menos invasiva.

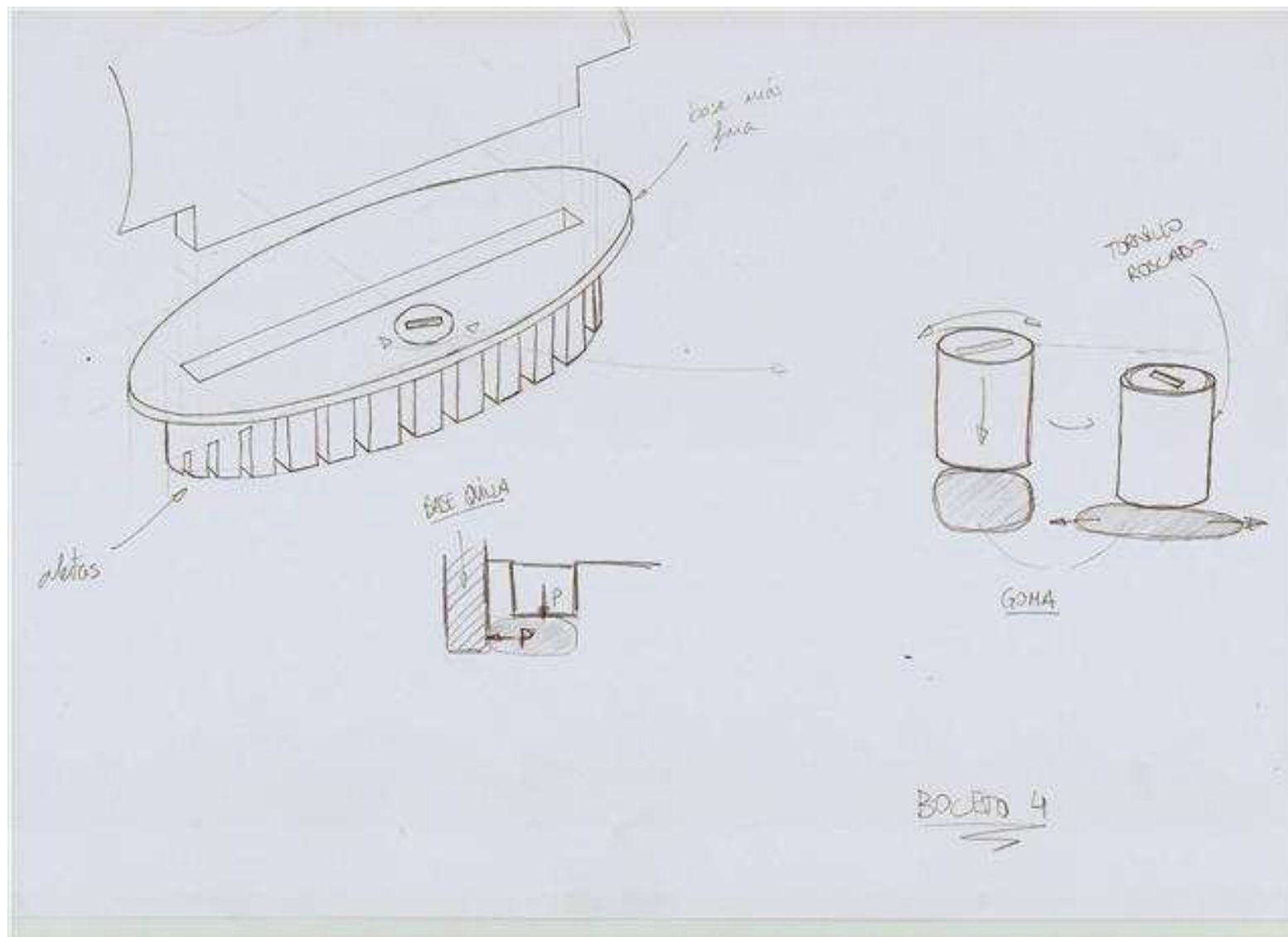
La sustitución del pulsador por la excéntrica, se trata de una simplificación del diseño, ya que requiere considerablemente menos componentes.



## 9.4 Boceto 4

El último boceto presenta un diseño más refinado y todavía más simple. La base del cajetín se encuentra ranurada, para minimizar la rigidez longitudinal, y así ser más próxima a la de la tabla de surf, tan importante para mantener la velocidad,

Además, puesto que las soluciones anteriores para la sujeción de las quillas tenían cierta dificultades de ensamblaje, se ha optado por una solución aún más sencilla. El diseño propuesto se trata de un tornillo de plástico, del mismo material que el cajetín, que está roscado y que puede ser accionado con una moneda de 1€ o 50cent. Este tornillo acciona verticalmente una goma deformable que apretará la quilla impidiendo que ésta se suelte.



## 9.5 Selección del Diseño Conceptual

La evaluación se realiza mediante un Datum, esto es, se toma un boceto como referencia y se valora el resto de bocetos con respecto a éste de referencia. Así, para cada requerimiento funcional tendremos un criterio de evaluación que vendrá dado por la siguiente notación:

<i>Símbolo</i>	<i>Valoración</i>
<b>+</b>	Cuando la idea es mejor que la primitiva
<b>-</b>	Cuando la idea actual es peor que la primitiva
<b>=</b>	Cuando la idea actual es similar a la primitiva

A continuación se muestra la tabla completada:

<i>Requerimiento</i>	BOCETO 1	BOCETO 2	BOCETO 3	BOCETO 4
Rigidez lateral	<b>D</b>	=	-	-
Flexibilidad longitudinal		=	=	+
Resistente a sobreesfuerzos		=	=	+
Compatibilidad con resinas epoxi y poliéster	<b>A</b>	=	=	=
Compatibilidad con otros sistemas		-	-	-
Durabilidad		=	+	+
Facilidad de manejo	<b>T</b>	+	+	+
Facilidad de montaje		=	=	=
Simplicidad		=	+	+
Volumen	<b>U</b>	=	+	+
$\Sigma+$		1	4	6
$\Sigma-$		1	2	2
$\Sigma=$	<b>M</b>	8	4	2

A la vista de los resultados obtenidos, se realiza una nueva tabla de evaluación en la que se toma como Datum el boceto 4, por ser el que mejores resultados ha obtenido en la primera valoración. Es el que más valoraciones positivas ha conseguido. El boceto 2 y 1 realmente no difieren en mucho pues son 8 los signos = que se le han atribuido. Podría incluso eliminarse de la selección de diseños.

<i>Requerimiento</i>	BOCETO 1	BOCETO 2	BOCETO 3	BOCETO 4
Rigidez lateral	+	+	=	<b>D</b>
Flexibilidad longitudinal	-	-	-	
Resistente a sobreesfuerzos	-	-	=	
Compatibilidad con resinas epoxi y poliéster	=	=	=	<b>A</b>
Compatibilidad con otros sistemas	+	=	=	
Durabilidad	-	-	-	
Facilidad de manejo	-	-	=	<b>T</b>
Facilidad de montaje	-	-	-	
Simplicidad	-	-	=	
Volumen	-	-	=	<b>U</b>
$\Sigma+$	2	1	0	
$\Sigma-$	7	7	3	
$\Sigma=$	1	2	7	<b>M</b>

Es obvio, a la vista de los resultados obtenidos, que el boceto número 4 es el mejor diseño, por tanto será el concepto que se desarrollará en detalle.

A continuación se hace una descripción más detallada del boceto seleccionado y sus características principales.



## 9.6 Diseño seleccionado

Se trata de un diseño en planta en forma de elipse, para repartir mejor los esfuerzos que recibe el cajetín de la quilla de forma lateral. No es demasiado profundo, pues esto unido a la gran área que posee debilitaría la tabla de surf en exceso.

El sistema de sujeción se ha solucionado mediante la incorporación de un único tornillo de accionamiento por cajetín. Este tornillo que puede ser accionado con un destornillador plano, o una moneda o similar, acciona una bola de goma deformable. Al apretar el tornillo, la bola se deforma, invadiendo la ranura del cajetín donde entra la quilla. La goma al presionar la quilla la mantiene fija. La ventaja de este sistema es que proporciona una sujeción suficiente para el uso normal, pero que fallaría (la quilla se soltaría) en caso de que ésta impactase con el fondo, por ejemplo una roca. Esto minimiza los daños en la tabla, y en caso de que la quilla resultase dañada, bastaría con sustituirla.

La base del cajetín presenta una geometría rayada o aleteada. Esto es así para minimizar su rigidez longitudinal y no interferir en el denominado *flex* de la tabla. Profundizando un poco más en el concepto de *flex* que no es más que la flexibilidad que tiene la tabla, es importante recalcar que aunque esta característica de las tablas de surf ha sido durante mucho tiempo ignorada, cada vez es más habitual ver diseños basados exclusivamente en dicha propiedad. Para que el lector no familiarizado con el concepto lo entienda, la flexibilidad del *tail* o cola de la tabla, permite al surfista realizar giros manteniendo una mayor velocidad. Esto es así pues cuando el giro comienza, parte de la energía (que es mucha en esos momentos) se aprovecha para flexionar la cola además de para realizar el giro, y al final del giro, cuando mucha de la energía se ha

perdido, la vuelta a la forma original de la tabla proporciona al surfista ese plus de energía necesario para acabar bien la maniobra. Esto es más acentuado cuanto más inexperto o poco hábil es el surfista.

En cuanto a la compatibilidad con otros sistemas de quillas y la forma de la ranura del cajetín, el diseño permite la utilización de casi cualquier sistema con el uso de ciertos adaptadores. El sistema diseñado tendrá una base grande, para que las tensiones en la quilla no sean demasiado elevadas, y por tanto éstas sean más duraderas. Además, al disponer de más área de contacto entre el cajetín y la quilla la transmisión de esfuerzos será más eficiente, que si se recuerda es la razón principal para el inicio de éste proyecto.

En cuanto a las características más generales, se trata de un diseño bastante compacto, al igual que la mayoría de la competencia (exceptuando FCS), pero esa comparación será más fácil de hacer tras la fase de diseño en detalle cuando las cotas y las características del diseño estén totalmente definidas.

## 10 AMFE DE DISEÑO

Para determinar los problemas que pueda tener nuestro producto realizamos un estudio de A.M.F.E. (Análisis Modal de Fallos y Efectos). El AMFE se trata de una técnica preventiva en la cual se emplea la experiencia de un grupo de personas en productos similares al que está en desarrollo para intentar detectar fallos que puedan tener tanto el proceso de fabricación como el producto en diseño en el futuro. Esto quiere decir que hay AMFEs tanto de diseño como de proceso, pero en este estudio únicamente se evaluará el AMFE de diseño, pues realizar un AMFE de proceso con información tan vaga y superficial del proceso de fabricación sería absurdo.

### 10.1 Método AMFE

El AMFE, es un utensilio extremadamente útil cuya finalidad es mejorar la calidad final del producto, mediante la detección de los diferentes modos de fallo posibles y proposición de acciones correctoras antes de que éstos aparezcan. La forma de realizar el AMFE de Diseño es valorar o estudiar los siguientes conceptos:

- Forma en que puede fallar el producto con respecto a esa función.
- Causa, o causas por las que se puede producir ese fallo.
- Defectos que produce el fallo en el caso que se produzca.
- Estudio de propuestas de mejoras del producto o del proceso.
- Puesta en marcha de estas mejoras y seguimiento del cumplimiento.

### **10.1.1 Fallo**

Es todo fenómeno, previsto o no previsto, que hace que una operación de fabricación produzca una o varias características no aceptables, que pueden llegar a provocar la inutilidad del producto fabricado.

### **10.1.2 Modo de Fallo**

Es la forma o manera en que el fallo se materializa. En cualquier operación puede haber varios modos de fallo potenciales.

### **10.1.3 Efecto del fallo**

Son las consecuencias que, para el producto o para los usuarios, o para las operaciones posteriores de fabricación tienen los distintos modos del fallo.

### **10.1.4 Causa del fallo**

Es el parámetro, utillaje, manejo, operación, entorno, operario, etc., que presentes en todo o parte del proceso, al no haber sido debidamente controlado, origina el fallo.

Se basa en la filosofía de que es mejor prevenir, que corregir.

En la etapa preventiva, se realiza:

- En la fase de diseño, AMFE de diseño o de producto.
- En la fase de definición de producto, AMFE: de producto. Si aparecen problemas en el uso de los productos, se vuelve a realizar un AMFE de producto.
- En cualquier momento que haya un problema.

Para realizar un AMFE se pueden distinguir varias fases:

- Análisis funcional, con estudio de posibles fallos, causas y efectos.
- Análisis del diseño, o del proceso, para estimar la frecuencia con que se puede producir el fallo.
- Análisis de los medios de detección para determinar la probabilidad de que un fallo, una vez que se ha producido, llega al cliente.
- Tablas de puntuación, y aplicación a los puntos anteriores.
- Planes de mejora en función de la puntuación objetiva anteriormente definida.

Se realiza una estimación de los costos por avería y fase en la que se produce. Los costos por fallo de materiales o productos, superan con creces a los gastos necesarios para la prevención de los mismos. Además, cuanto más tarde se detecta el fallo en el proceso de lanzamiento del producto, mayor es el costo del fallo.

La gráfica siguiente enfrenta el periodo de fallo con el costo del mismo y se observa que es de tipo parabólico, y el costo es mucho mayor cuando lo detecta el usuario que cuando lo detecta el fabricante.

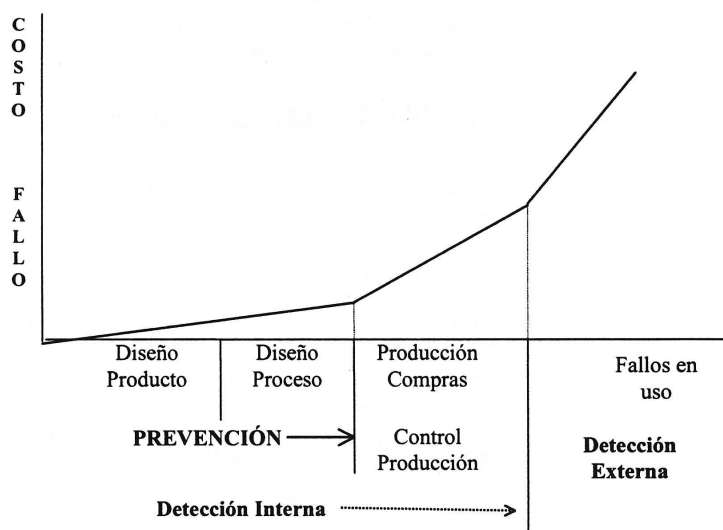


Figura 10.1: Costo Fallo Vs Fase del Proceso

Se deben cumplir unas condiciones para poder aplicar la técnica del AMFE:

- Es indispensable el apoyo de la dirección de la empresa.
- Se realiza por un equipo de trabajo multidisciplinar, que posea la formación adecuada y no por una sola persona.

A parte de todo esto, se puede numerar los beneficios que presenta la realización de un AMFE:

- Capacita el diseño y al proceso para conseguir un buen producto.
- Minimiza las posibilidades de fallo.
- Identifica las necesidades de cambio.
- Aumenta la calidad y la rentabilidad.

- Enriquece la experiencia de grupo para nuevos trabajos.
- Facilita el diálogo entre los profesionales del equipo.
- Delimita responsabilidades para la concesión de fallos.

Con el fin de estandarizar la presentación de los AMFES, tanto de diseño, como de proceso, se ha oficializado un documento base de trabajo donde se recogen todas las incidencias que van apareciendo en el análisis.

El formato estándar podría ser el siguiente:

AMFE DISEÑO														
Nº: _____					Pág. de _____									
Sección: _____		Producto: _____		Diseño: _____		Solicitante: _____								
Participantes					Fecha Realización			Etapas		Fecha Revisión				
Función	Modo	Efecto	Causa	Detección	F	G	D	IPR	Acción Correctora	Respo.	F	G	D	IRP

Figura 10.2: Tabla de análisis AMFE estandar.

Anteriormente se ha comentado que la etapa previa a la realización del AMFE es la etapa de análisis. A continuación le sucede una etapa de valoración en la cual, para cada grupo de fallo, efecto, causa y detección se valoran numéricamente.

- F: Frecuencia con la que puede aparecer el fallo por la causa de que se trate. Existen muchas escalas para trabajar este índice; a continuación se incluye una de ellas que es con la que se trabajará:

Criterio	Valor de F
Muy escasa probabilidad de ocurrencia. Defecto inexistente en el pasado.	1
Escasa probabilidad de ocurrencia. Muy pocos fallos en situaciones pasadas similares.	2-3
Moderada probabilidad de ocurrencia. Defecto aparecido ocasionalmente	4-5
Frecuente probabilidad de ocurrencia. En circunstancias similares anteriores el fallo se ha presentado con cierta frecuencia.	6-7
Elevada probabilidad de ocurrencia. El fallo se ha presentado frecuentemente en el pasado	8-9
Muy elevada probabilidad de fallo. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	10

- G: Gravedad del fallo en función del efecto que produce. De la misma manera presentamos una tabla con la escala con la que se va a trabajar.

Criterio	Valor de G
Ínfima . El defecto sería imperceptible por el usuario	1
Escasa. El cliente puede notar un fallo menor , pero solo provoca una ligera molestia.	2-3



Baja. El cliente nota el fallo y le produce cierto enojo.	4-5
Moderada. El fallo produce disgusto e insatisfacción al cliente.	6-7
Elevada. El fallo es crítico, originando un alto grado de insatisfacción en el cliente.	8-9
Muy elevada. El fallo implica problemas de seguridad o de no conformidad con los reglamentos en vigor.	10

- D: Posibilidad o probabilidad de detección de fallo antes de que llegue al cliente. También para este índice incluimos la escala utilizada.

Criterio	Valor de D
Muy escasa. El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
Escasa. El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría raramente escapar a algún control primario, pero sería posteriormente detectado.	2-3
Moderada. El defecto es una característica de bastante fácil detección.	4-5
Frecuente. Defectos de difícil detección que con relativa frecuencia llegan al cliente.	6-7
Elevada. El defecto es de naturaleza tal, que su detección es relativamente improbable mediante los procedimientos convencionales de control y ensayo.	8-9
Muy elevada. El defecto con mucha probabilidad llegará al cliente, por ser muy difícil de detectar.	10

Basándose en estos tres índices se obtiene el *Índice de Prioridad de Riesgo IPR* como producto de los tres parámetros anteriores. Este número puede variar de uno a mil y nos indica el grupo de fallo, causa, medios de detección y por tanto nos indica hacia donde deben encaminarse nuestra acción de mejora.

Por último se encuentra la etapa de actuación. Fase en la que se solucionarán los fallos identificados. Sobre aquellos grupos con valores más elevados, se realizarán actuaciones de mejora que supondrán: modificaciones de diseño, de proceso, o de medios de control para detectar el fallo caso que se produzca.

Es necesario que esta acción esté perfectamente definida en cuanto:

- Actuación a realizar
- Documentación sobre la actuación
- Fechas, plazos, calendarios...
- Responsables parciales
- Responsable total
- Seguimiento

Cuando de un AMFE salen varias acciones correctoras, estas se priorizan de acuerdo al IRP que resulte de dicho AMFE.

Tras éste pequeño resumen de cómo realizar el AMFE de un producto/proceso, pasamos al estudio como tal del producto que se está diseñando.

Para realizar el AMFE no se han empleado todos los requerimientos funcionales identificados en capítulos anteriores pues se ha considerado inútil. Por ejemplo, que el producto huela bien no puede dar fallos, o al menos para el diseñador no supone una fuente de fallos. Por tanto éste requerimiento y otros más se han ignorado en esta fase. Por el contrario los requerimientos que si se han tenido en cuenta para realizar el AMFE son los siguientes:

- Que se deforme poco lateralmente
- Que tenga parecida flexibilidad longitudinal que la tabla de surf
- Que no pese más de 50gr. por cajetín
- Que sea resistente al desgaste
- Que cumpla las normas de seguridad y anti-contaminación

A partir de éstas funciones se ha llevado a cabo el estudio AMFE, cuyas tablas y conclusiones se muestran a continuación.

## **10.2 Tablas AMFE de Diseño**

## AMFE DISEÑO

**Producto:** Sistema fijación quillas

**Requerimiento:** Que se deforme poco lateralmente

Modo de Fallo	Efecto	Causa	Detección	F	G	D	IPR	Acción Correctora	F	G	D	IPR
Defecto de fabricación	Poca rigidez. Gran deformación. Rotura	Fallo en fabricación.	Control calidad en fabricación	2	8	5	80	Revisión a la salida de la máquina	1	8	1	8
La quilla no se aprieta	La quilla se cae	Fallo en fabricación. Tolerancias.	Control calidad en fabricación	2	6	5	60	Revisión de tamaño de ranura con pasa/no pasa	2	6	2	24
La quilla no se aprieta	La quilla se cae	No apriete del tornillo	No	3	4	7	84	Comprobar siempre que la quilla está fija.	3	4	1	12
Mala instalación en tabla de surf	Rotura. Poca rigidez.	No seguimiento de las instrucciones.	Chequeo tras montaje.	2	8	1	16	Instalación a prueba de fallos.	1	8	1	8

## AMFE DISEÑO

**Producto:** Sistema fijación quillas

**Requerimiento:** Que la deformación longitudinal sea similar a la de la tabla de surf.

Modo de Fallo	Efecto	Causa	Detección	F	G	D	IPR	Acción Correctora	F	G	D	IPR
Defecto de fabricación	Gran rigidez.	Fallo en fabricación.	Control calidad en fabricación	2	6	3	36	Revisión a la salida de la máquina	2	6	1	12
El cajetín se hunde en la tabla de surf.	Poca rigidez.	Mal pegado con poliéster.	Al hacer surf.	2	9	6	108	Revisión tras instalación.	1	8	1	8
Vía de agua entre cajetín y tabla.	Envejecimiento prematuro.	Mal montaje.	Envejecimiento prematuro del foam. Tarde.	2	8	9	144	Revisión tras montaje. No poros.	1	8	2	16

## AMFE DISEÑO

**Producto:** Sistema fijación quillas

**Requerimiento:** Que no pese más de 50gr. por cajetín

Modo de Fallo	Efecto	Causa	Detección	F	G	D	IPR	Acción Correctora	F	G	D	IPR
Peso excesivo	Producto demasiado pesado.	Temperatura polímero incorrecta. Suciedad.	Control calidad en fabricación	1	4	3	12	Control visual: Impurezas o diferencias de color.	1	3	2	6
Muy poco peso	Falta de material	Llenado incompleto del molde en inyección.	Control calidad en fabricación	2	5	3	30	Comprobar T y llenado de tolva antes de cada turno.	1	5	2	10

## AMFE DISEÑO

**Producto:** Sistema fijación quillas

**Requerimiento:** Que sea resistente al desgaste

Modo de Fallo	Efecto	Causa	Detección	F	G	D	IPR	Acción Correctora	F	G	D	IPR
Desgaste prematuro	La quilla se puede caer	Dimensiones erróneas	Por el usuario	2	6	5	60	Comprobación pasa/no pasa tras fabricación	1	6	1	6
Deterioro prematuro	Corrosión	Material inapropiado	Tarde	3	10	8	240	Elección material anti-corrosión.	1	8	3	24
Deterioro prematuro	Cambio de color ante radiación solar	Material inapropiado	Tarde	2	6	8	96	Elección material resistente a la radiación.	1	6	3	18
Tornillo de afloja	La quilla no queda sujeta	Rosca desgastada por uso o arena	Por el usuario	1	7	6	42	Elección material tornillo más blando que cajetín.	1	3	5	15

## AMFE DISEÑO

**Producto:** Sistema fijación quillas

**Requerimiento:** Que cumpla las normas de seguridad y anti-contaminación

Modo de Fallo	Efecto	Causa	Detección	F	G	D	IPR	Acción Correctora	F	G	D	IPR
Bordes cortantes expuestos	Posibles cortes en usuario	Fallo en fabricación.	Control calidad en fabricación	2	6	2	24	Revisión a la salida de la máquina	1	8	1	8
Material nocivo	Problemas en personas o animales	Mala elección de material.	Efectos tras el uso	2	10	7	140	Comprobar inocuidad del material antes de utilizarlo	1	1	1	1
Material Nocivo	Problemas en personas o animales	Filtración de material contaminante en la máquina	Nunca	2	10	10	200	Comprobación de homogeneidad de material de la pieza. Que la máquina no tenga fugas de aceite u otras sustancias contaminantes.	1	9	1	9



Tras realizar las tablas AMFE para cada uno de los requerimientos funcionales, es recomendable analizar el valor de cada IPR para los diferentes modos de fallo para concluir cuál de ellos es más urgente, y es que, los modos de fallo con mayor IPR son aquellos cuya frecuencia, gravedad y dificultad de detección es mayor.

Para el producto diseñado, los modos de fallo con mayor IPR son aquellos relacionados con los requerimientos funcionales clasificados como primarios. La razón de esto es que el diseño y sistemas para cumplir éstos son más complejos que para los secundarios y terciarios. En cualquier caso se puede observar que los IPR más altos corresponden a aquellas funciones que más que de la innovación respecto a la competencia repercuten en la comodidad del usuario. Simplificando la idea, viene a decir que es más importante que las funciones relacionadas con el uso continuado sean más eficientes que el producto sea innovador en algún campo. Por ejemplo, un usuario preferirá tener un cajetín que no se desgaste al cabo de 6 meses de uso intensivo, en vez de uno que sea muy rígido pero que a los 6 meses deje de ser útil.

Esto será así para la gran mayoría de usuarios, ya que como se hizo anteriormente al segmentar el mercado, se comprobó gracias a la encuesta, que la mayoría de segmentos preferían un sistema de fijación más rígido, pero no a cambio de sacrificar otras cualidades como: precio, durabilidad o facilidad de uso.

En general, las medidas más importantes a tomar para la minimización de fallos en el diseño serán las siguientes:

- Control de calidad a la salida de la máquina, que se compondrá de diferentes comprobaciones:

1. Control visual de la pieza. Comprobar homogeneidad en color y acabado, que no tenga irregularidades y que el llenado sea completo.
  2. Comprobación de las dimensiones de la ranura donde entra la pieza con un sistema de pasa/no pasa.
  3. Mantenimiento de la máquina. Comprobar que no haya fugas de aceite u otras sustancias que puedan dar un carácter nocivo a la pieza fabricada.
- 
- o Buena elección del material. Que el material cumpla con las especificaciones requeridas de resistencia desgaste y resistencia a la corrosión y radiación solar.
  - o Instrucciones de montaje apropiadas. A la vez que con unas herramientas eficientes, que recordándolo ya fueron definidas como funciones secundarias del producto, las instrucciones de montaje tienen que ser claras y sencillas de comprender. La instalación así mismo no debe de ser compleja, para limitar los fallos de montaje. El de las herramientas asociadas al montaje así como las instrucciones serán expuestas con total detalle en la fase de diseño definitivo.

## 11 DISEÑO PRELIMINAR

El diseño preliminar se lleva a cabo a partir del diseño conceptual una vez de que éste haya sido sometido al test de potenciales compradores. Dicho test es más una tarea del departamento de marketing, que es capaz de determinar mucho mejor que el equipo de diseño la respuesta y opinión de los potenciales compradores.

En el desarrollo del diseño preliminar se tienen en cuenta, por supuesto, las especificaciones que requiere el cliente, pero se va más allá. Se estudian la calidad del producto, su competitividad en el mercado, el costo de fabricación y otras muchas características difíciles de satisfacer.

La única forma de estudiar apropiadamente todas estas características, es mediante la fabricación de una o unas (un lote) de unidades físicas del producto diseñado. La fabricación en planta de esta unidad o unidades resulta tremendamente compleja y cara en la mayoría de los casos pues hay que modificar los sistemas de producción actuales para una serie de unidades muy reducida. Por esa razón últimamente ha aparecido un nuevo tipo de maquinaria especial para realizar prototipos. A continuación se hace un repaso por las diferentes técnicas de prototipado para llegar a la conclusión de cual sería la mejor opción para realizar el prototipo del cajetín.

### 11.1 Prototipado y selección de materiales

Antes de determinar el diseño definitivo, suele ser habitual y recomendable fabricar un cierto número de prototipos partiendo del diseño preliminar. Mediante estos prototipos se pueden realizar ensayos o pruebas que

de otro modo no serían posibles. Además, gracias al prototipado se pueden garantizar la calidad y la fabricabilidad del producto diseñado. En definitiva, se pueden evaluar todas las características del producto excepto las del proceso de producción.

En lo que a selección de materiales se refiere, si bien en capítulos anteriores ya se ha comentado la idea de que el producto sea fabricado con algún tipo de polímero, en este apartado se podrán determinar las características del material con mayor exactitud. El o los materiales seleccionados tendrán que cumplir con las exigencias mecánicas a las que será expuesto el producto y tendrán que solventar estos esfuerzos satisfactoriamente. Pero más allá de esas exigencias, tendrán que cumplir otras de tipo económico, disponibilidad o incluso de fabricabilidad que no pueden ser en ningún caso obviadas.

Para las piezas del cajetín y del tornillo de apriete que podrían ser del mismo material para abaratar costes de materias primas y maquinaria, el material seleccionado tendrá que cumplir entre otras las siguientes especificaciones:

- Resistencia a la corrosión.
- Resistencia mecánica suficiente para aguantar los esfuerzos de la quilla.
- Baja densidad del material para que el producto sea ligero.
- Fácil de fabricar
  - Fácil de desmoldar: Viscosidad a temperatura de fusión baja.
  - Fácil de mecanizar: Dureza no muy elevada.
- Buena compatibilidad con resinas de poliéster y epoxi.

- Que no sea contaminante.
- Barato.

En los últimos años ha surgido una nueva familia de máquinas altamente innovadoras que permite, con diferentes tecnologías y materiales, obtener un prototipo de un modelo o de un molde, de manera precisa y rápida a partir del modelo sólido generado en un sistema CAD-3D. Tales máquinas conocidas como máquinas de prototipado rápido, permiten obtener piezas físicas acabadas de modo automático, de cualquier forma y en dimensiones finales, con complejidad y detalles que no permitirían su obtención en máquinas convencionales, o que harían su ejecución larga y compleja en centros de fabricación con control numérico.

Resumiendo, dichas máquinas posibilitan una mayor velocidad y menor costo monetario en la obtención de prototipos comparados con los procesos tradicionales de fabricación.

Pero más allá de esto, en ciertos casos estas técnicas permiten incluso la obtención de matrices capaces de producir una cantidad limitada de piezas, ideal para el uso en la producción de lotes piloto. Tal tecnología posibilita que las empresas puedan desarrollar productos más rápidamente (menor Time To Market) y con menor costo, y, principalmente con un incremento de calidad por medio de una mejor evaluación del proyecto. Lleva también una disminución de dudas y de riesgos en el proceso de diseño, lo que se traduce en un aumento de la calidad, y por ende, de la satisfacción del cliente.

Antes de continuar con la descripción de las técnicas de prototipado, el autor cree necesaria la aclaración de ciertos puntos. Dada la naturaleza académica de este proyecto de diseño, y la no disposición de máquinas de



dimensiones correspondiente. Existen asimismo, otro tipo de sistemas que en lugar de realizar conformación por planos paralelos (2,5D), se basan en la conformación directa en el espacio.

El empleo de estas tecnologías ha ocasionado que los tiempos de fabricación de los prototipos se midan en horas, en vez de días, semanas o meses, lo que ha traído consigo la calificación de rápido, y como consecuencia directa, una considerable reducción de los costes asociados a la fabricación de las piezas y del Time To Market o comercialización.

Además, como se ha señalado anteriormente, los tipos de materiales que se pueden emplear para la fabricación de prototipos han aumentado significativamente, mejorando la precisión y las características funcionales de los elementos obtenidos.

Además de los procesos anteriores, cabe señalar que las técnicas actuales de mecanizados a altas velocidades que permitan la obtención de piezas de alta calidad de una forma rápida, no se deben excluir de los procesos de fabricación rápida de prototipos. Si bien el término “prototipado rápido” va generalmente asociado a las técnicas que construyen piezas mediante adición de material o mediante la solidificación selectiva en lugar de eliminarlo como medio principal de conformación, también a procesos de otros tipos a los que incluye dentro del término.

Los distintos procesos de fabricación de prototipos se pueden clasificar de diferentes formas como, por material empleado, energía utilizada, o por el tipo de aplicación en que se utilicen.

En conclusión, las técnicas de fabricación rápida de prototipos constituyen actualmente una alternativa incipiente a considerar de cara a la producción directa de piezas, componentes o modelos, para su empleo directo en los procesos de fabricación.

Volviendo al caso particular del producto que se está diseñando en este proyecto, el del cajetín de las quillas para tablas de surf, algunas de las técnicas de prototipado rápido que podrían emplearse se enumeran a continuación.

### **11.1.1 Estereolitografía**

La estereolitografía se basa en fotopolímeros, o más propiamente prepolímeros fotocurables, o sea, cadenas moleculares pequeñas de uno o varios monómeros precurados en un estado líquido viscoso que son capaces de reticular al estado sólido mediante la exposición a la luz, generalmente UV. Estos materiales, que originalmente fueron desarrollados para la industria gráfica son perfectamente adaptables a éste sistema.

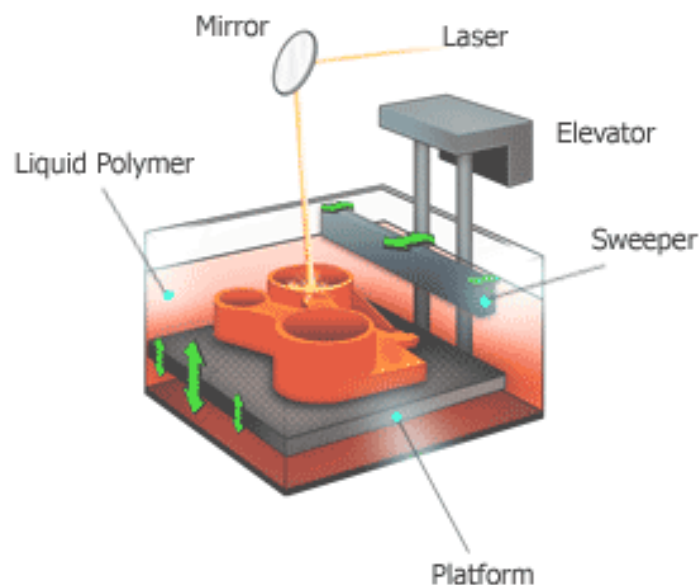
Su funcionamiento es sencillo en teoría. Se trata de una superficie que se eleva o desciende, situada dentro de un recipiente lleno de éste fotopolímero descrito anteriormente. Inicialmente se coloca justo por debajo de la superficie de dicha resina. El conjunto debe estar contenido en un recipiente sellado para evitar la fuga de vapores de la resina pues éstos suelen ser tóxicos.

Un láser se va desplazando sobre la superficie del líquido siguiendo la sección del objeto a reproducir, y produciendo la transformación de líquido a sólido. Una vez que el láser cura toda la superficie de la capa, se desciende la



superficie elevadora en una cantidad igual al grosor de la nueva capa a fabricar y se repite el proceso hasta fabricar totalmente la pieza.

Una vez finalizado el proceso, se eleva el modelo para que escurra el excedente, se extrae y se lo somete a un baño de luz intensa en una caja parecida a un horno llamada aparato de post-curado (PCA – Post Curing Apparatus) para el curado final. Esta fase tiene como propósito el endurecimiento total de la pieza generada mediante el láser. Esto le permite tener propiedades adecuadas para su utilización, permitiendo procesos posteriores de acabado, como lijado, arenado, pintado, etc.



*Figura 11.1: Estereolitografía.*

### 11.1.2 Sinterización por Láser

El Sinterizado Selectivo por Láser trabaja creando capa a capa los objetos tridimensionales, partiendo de la solidificación selectiva de las partículas de polvo, utilizando aportación de calor generada por un láser de CO<sub>2</sub>. Los ficheros de CAD; en forma de STL, son divididos en finas capas y dibujados mediante un fino rayo de láser en una superficie cubierta por una leve capa de partículas de polvo. Estas se van derritiendo, uniéndose a la capa anterior por lo que encajan perfectamente al diseño realizado en CAD. A medida que se funden las capas, las piezas van formando en el interior de la máquina. Se construye de abajo arriba. Una vez terminado el proceso, sólo falta limpiar la pieza y ya está preparada para su montaje.

Con este sistema se tienen las piezas en un día y, a diferencia de otros sistemas, la pieza no ha de recibir ningún otro tratamiento posterior y puede ser usada tal y como sale de la máquina. Otra de las ventajas del sistema es la posibilidad de realizar varias piezas a la vez debido a la posibilidad de apilar las piezas una encima de la otra, no siendo necesarias estructuras de soporte para su construcción ya que se apoyan sobre el mismo polvo con el que se sinteriza.

Si bien este proceso sería útil para la fabricación de un modelo tangible, sería imposible de ser utilizado en una tabla de surf. La razón es sencilla, su peso aumentaría en exceso el peso total de la tabla, haciéndola muy difícil de utilizar. Pero a pesar de ello si podría ser una opción para la muestra o venta o incluso pruebas o cursillos de montaje en los que los cajetines podrían instalarse en diferentes ocasiones, y posteriormente limpiar la resina que tengan y utilizarlos en otro cursillo.

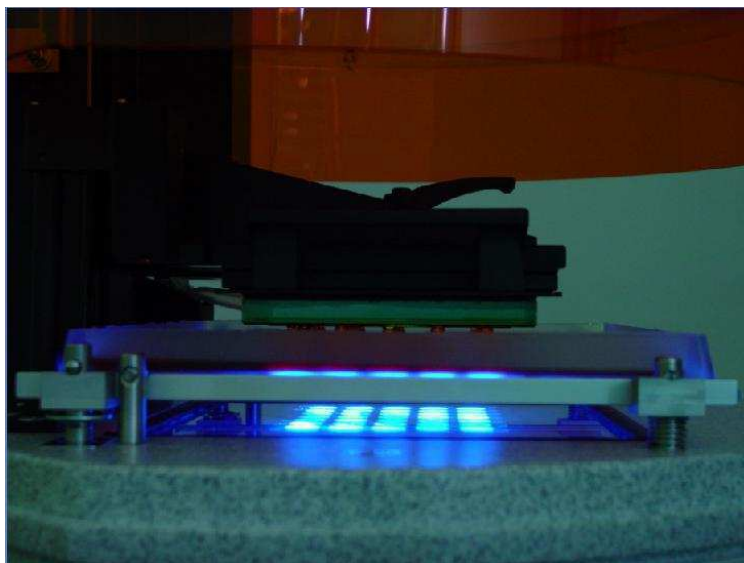


Figura 11.2: Esquema del proceso de Sinterización selectiva por laser

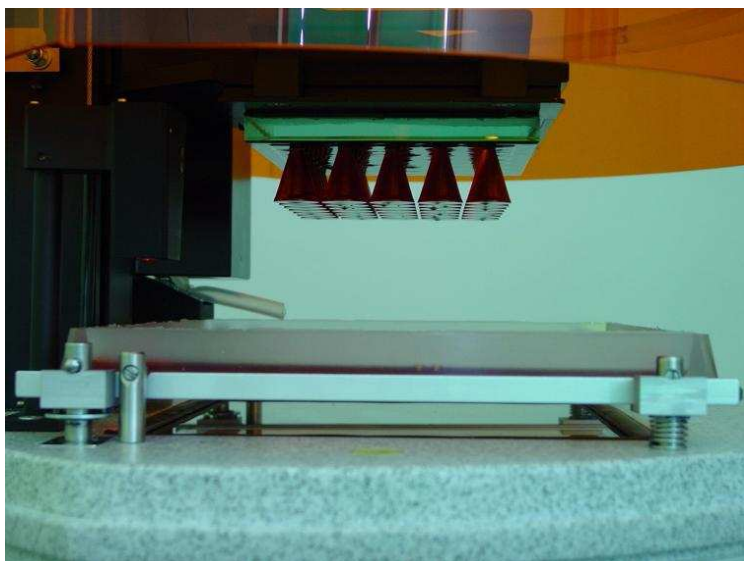
### 11.1.3 Fotopolimerización

La fotopolimerización se fundamenta en la solidificación de una resina en estado líquido por acción de la luz proyectada a través de una máscara DLP (Digital Light Processing).

La resina en estado líquido se expone a una imagen proyectada desde el fondo de la máquina por el proyector DLP, comenzando el proceso de cura. Una vez terminado, la placa de cristal sube arriba, una nueva capa de resina líquida fluye, la placa baja otra vez hasta poner en contacto la capa sólida en construcción con la resina líquida, y el proceso sigue adelante tantas veces como sea necesario hasta que la pieza esté completamente generada.



*Figura 11.3: Fotopolimerización. Luz proyectada.*



*Figura 11.4: Fotopolimerización. Nueva capa de resina.*

#### **11.1.4 Prototipado por impresión**

La tecnología de impresión 3D posibilita la producción de modelos sólidos, con precisión rapidez y rentabilidad. En esta técnica los archivos en tres

dimensiones (con extensión .STL), se transfieren a la impresora de sólidos, cuyo sistema es similar al de la impresora de chorro de tinta. Los chorros del cabezal de impresión distribuyen un material termopolimérico en capas finas para crear el modelo sólido.

Tiene como ventajas que debido a las características del material, su utilización es amplia en forma de matriz para la reproducción de prototipos metálicos mediante tecnología de microfusión. También por su rapidez y rentabilidad es un excelente sistema a emplear cuando los requisitos son puramente conceptuales y visuales.

### Impresora 3D Monocromo

**24.140 €**



**Modelo:** Zprinter 310 Plus.  
**Número de referencia:** ACC01001.  
**Fabricante:** Zcorp.  
**Servicio técnico:** Accendi.  
**Tiempo de entrega estimado:** 20-25 días.

**Descripción:** La Zprinter 310 es la impresora 3d capaz de fabricar prototipos en unas pocas horas a partir de los datos de archivos CAD. Además, es líder indiscutible de prototipado rápido por velocidad, por coste y por precisión.

**Incluye:** Zprinter 310, Recicladora de Consumibles, Kit Inicial de Consumibles monocromo (16.400 cm3), Portes, Instalación y formación (dos días de atención de un técnico especializado), Garantía de 1 año (incluye piezas).

*Figura 11.5: Impresora 3D comercial del fabricante Zcorp.*

### 11.1.5 Deposición de hilo fundido

Una boquilla que se mueve en el plano XY horizontal deposita un hilo de material a 1°C por debajo de su punto de fusión. Esto se hace así para que el hilo solidifique inmediatamente sobre la capa precedente.

La máquina utilizada está compuesta fundamentalmente por:

- Un cabezal móvil que vierte el filamento.
- Una plataforma fija.
- Rollo de material a depositar, el más empleado es poliéster.

Haciendo una descripción un poco más detallada del proceso, el material sale del cabezal extrusor en un estado semilíquido. El movimiento del cabezal en los ejes X e Y define cada sección o capa de la pieza, posteriormente la plataforma desciende en el eje z dando lugar a una nueva capa sobre la anterior.

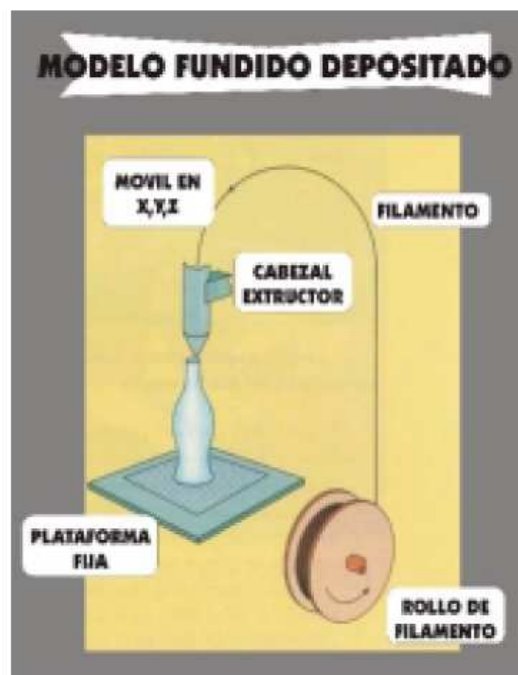


Figura 11.6: Esquema del prototipado por deposición de hilo fundido.

Como puede observarse en la figura y el lector habrá podido deducir, esta técnica es adecuada para la generación de piezas huecas con pequeños espesores. La razón es que generar una sección completa de una pieza entera o maciza, resulta muy laborioso con un hilo, haciendo el proceso mucho más lento que los anteriores, pero aún y todo, podría emplearse en la fabricación del cajetín. En especial por las características mecánicas del material del hilo, similares a las que tendría el material del cajetín en el diseño final.

#### **11.1.6 Fabricación de objetos laminados**

La técnica de fabricación por corte y laminado (Laminated Object Manufacturing, LOM) está basada en la creación de prototipos rápidos a través de la superposición y pegado sucesivo de láminas de papel cortadas por láser. Evidentemente, la generación de un prototipo mediante éste proceso es más estético que funcional, pues difícilmente podrán realizarse ensayos mecánicos con papel, y más en la generación de un prototipo de cajetines para quillas de surf. En cualquier caso podría ser una técnica interesante desde el lado visual y de marketing.

La máquina utilizada para su realización está compuesta por:

- Un láser.
- Dos rodillos mediante los cuales el papel se va renovando.
- Un rodillo que presiona cada capa de papel antes de ser cortado por el láser.
- Una plataforma móvil.

El proceso se ha expuesto anteriormente es sencillo y se resume y expone visualmente en la siguiente imagen:



Figura 11.7: Esquema de máquina de corte y laminado

### 11.1.7 Deposición y mecanizado

El proceso fundamental FDM (Fabricación por Deposición y Laminado) implica calentar un filamento de polímero termoplástico y extrusionarlo siguiendo la forma de las secciones para formar las piezas por capas o láminas. La generación secuenciada de éstas capas permite al fin generar la pieza deseada.



Dado que el filamento extrusionado es muy fino, pueden realizarse modelos con gran precisión y lo que es más, que tengan geometrías complicadas. Además, en caso necesario pueden ser mecanizadas para darles el acabado deseado aunque no suele ser muy habitual debido a la calidad de las piezas generadas en cuanto a precisión y acabado. El proceso es, por lo general más rápido que los otros expuesto anteriormente.

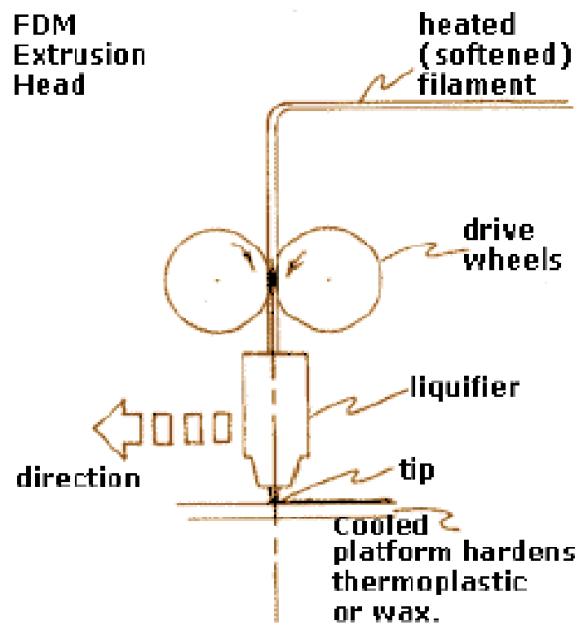


Figura 11.8: Esquema del extrusor de hilo en procesos FDM

### 11.1.8 Ventajas que representan algunas de las técnicas

Si bien todas las técnicas expuestas sirven para fabricar un prototipo de forma rápida, no todos los prototipos serían útiles para el diseño preliminar de cajetín de las quillas de las tablas de surf. No hay que olvidar que el principal factor para la fabricación de un prototipo sería la posibilidad de instalarlo en una tabla de surf y probarlo haciendo surf. Teniendo en cuenta las características de todos los sistemas de prototipado rápido expuestos, algunos serían más útiles que otros. Los métodos que mejor se ajustan a dicho propósito se exponen a continuación con una breve descripción de cada uno.

#### **Estereolitografía**

- Método económico y rápido.
- Su finalidad es proporcionar una visión física y funcional del diseño.
- Aplicaciones: Modelos conceptuales y estética, detalles de partes y exactitud, padrones maestros para procesos secundarios.

Se podría utilizar para la fabricación de un cajetín que pudiese ser estudiado en los aspectos de compatibilidad con quillas de otras marcas, peso, tamaño, facilidad de instalación, comodidad de uso, etc. pero desgraciadamente no sería un prototipo adecuado para un test mecánico o de prueba sobre el terreno.

## Sinterización selectiva por láser

- Permite hacer ensayos de resistencia y durabilidad.
- Posibilidad de manejar diferentes materiales.
- Piezas muy resistentes.
- Aplicaciones: Prototipos y patrones de plástico y metal, mecanizados complejos, partes de alta durabilidad, partes con pequeños rasgos, pequeños lotes de piezas metálicas o plásticas.

A diferencia de la Estereolitografía, la Sinterización por Láser permite la creación de prototipos que pueden ser ensayados mecánicamente. Además, se puede llevar a cabo con diferentes materiales lo que permite una vez probado un material seleccionar otro dependiendo de los resultados de los tests realizados, o incluso realizar diferentes lotes de piezas en diferentes materiales y decidir cual es el mejor. Por éstas razones esta técnica podría ser muy apropiada.

La única pega que presenta la Sinterización por Láser es la posibilidad de generar la geometría deseada para el cajetín ya que debido al sistema en el que genera el prototipo podría no ser fácil o incluso imposible generar.

En cualquier caso, si la técnica es realmente aplicable para generar el modelo, siempre quedará el factor coste. Este tendrá que ser uno de los factores determinantes en la selección del sistema de prototipado elegido.

## **Deposición de hilo fundido**

- Gran rapidez (101 mm/seg).
- Tamaño de la pieza a crear sin límite, únicamente los de la máquina.
- Pieza obtenida resistente, no necesita ser mecanizada.
- Material dúctil como cualquier polímero.

La deposición de Hilo Fundido permite crear un prototipo resistente mecánicamente que podría ser testado en las condiciones reales de trabajo. Permite la utilización de diferentes polímeros lo que amplía en abanico de pruebas que se pueden realizar.

En conclusión, las técnicas más apropiadas de todas las expuestas serían la Deposición de Hilo Fundido y la Sinterización Selectiva por Láser. Es difícil para el autor sin disponer de más información ni tarifas de cada uno de los sistemas la selección de una de éstas técnicas para el desarrollo de los prototipos. En cualquier caso, no hay duda de que la posibilidad de que el prototipo pueda ser testado en condiciones reales de uso (instalarlo en una tabla de surf y hacer surf con ella, montando y desmontando quillas) es absolutamente necesario. Si este requisito no se cumple de poco servirá la creación del prototipo en el proceso de diseño, pasando a ser un ejercicio innecesario de tiempo y gasto que no reportará ningún beneficio en la búsqueda de la satisfacción máxima del cliente.

En caso de que las dos técnicas propuestas puedan ser empleadas para la fabricación de un prototipo rápido, el costo de cada una de ellas será

determinante en la selección de una u otra, al igual que lo será el tiempo de fabricación, la calidad, el acabado y demás consideraciones expresadas anteriormente.

Tampoco hay que olvidar la posibilidad de la no utilización de técnicas de prototipado rápido en el diseño preliminar. El fundamento de ésta afirmación reside en la simplicidad del producto diseñado. Dado que está compuesto básicamente de 3 piezas 2 de las cuales son del mismo material, un polímero, podría utilizarse una máquina de inyección que luego se utilizaría en la producción masiva, para la fabricación de diferentes prototipos. Para poder realizar los prototipos de éste modo sería necesaria la fabricación de los moldes de las piezas. Habría que tener en cuenta el gasto añadido de la fabricación de otro molde o modificación del primero en caso de que el diseño preliminar no resultase satisfactorio tras los test realizados. Esta posibilidad, tendría que ser estudiada, una vez más, en términos de coste.

## **11.2 Pruebas y ensayos**

Una vez realizados los prototipos éstos deberán ser ensayados y probados tanto por el diseñador como por una serie de usuarios. Si bien en éste proyecto como se ha indicado anteriormente no se han realizado prototipos, si que se han determinado los ensayos a realizar con los nuevos productos.

Las pruebas a las que serán sometidos los prototipos se dividen en dos fases: Alfa y Beta que se realizan de forma secuenciada. Las características de cada una de las pruebas se determinan a continuación:

- Prueba Alfa: Se trata de realizar sobre el prototipo o producto pruebas de tipo mecánico, resistencia, etc. para ver cómo se comporta y si realmente lo diseñado en fases previas satisface las necesidades que se quieren satisfacer. En este caso se refiere a pruebas de carácter resistivo, de instalación en la tabla de surf y de compatibilidad con otros sistemas de quillas. La magnitud de éstos esfuerzos y pruebas se especifican en una tabla más adelante.
- Prueba Beta: Una vez que el producto haya pasado la prueba Alfa, ha de ser probada por los usuarios. Estos determinarán si el producto satisface las necesidades que ellos tienen de forma correcta y tanto si lo hace como si no, posibles mejoras que podrían introducirse. En el caso de las tablas de surf, la prueba no sería otra que dar una serie de tablas con los nuevos cajetines a unos surfistas profesionales (o de alto nivel), para que puedan apreciar las diferencias y sean capaces de transmitir información útil para posibles mejoras o identificar carencias. Es importante recalcar que en ésta prueba, la utilización de quillas con las que los surfistas están familiarizados es fundamental debido al papel crítico que éstas tienen. Por eso, los nuevos cajetines serán probados con un juego de quillas del gusto de cada uno de los probadores mediante la utilización de adaptadores.

### 11.2.1 Determinación de fuerzas

Anteriormente, en el Pliego de Condiciones Funcional ya se ha hablado de la magnitud de las fuerzas a las que está expuesta una quilla y por consiguiente, las reacciones de éstas fuerzas allí donde la quilla está anclada, el cajetín, producto que se está diseñando en este proyecto.

Como se ha dicho anteriormente, las condiciones de trabajo de las quillas son tremendamente complejas. Se trata de unos perfiles aerodinámicos de geometría compleja a través de los que fluye una corriente de un fluido, en este caso agua salada. Hasta ahí podría ser relativamente fácil, la dificultad viene si se tiene en cuenta el carácter variable de las condiciones en las que ese fluido fluye (valga la redundancia) a través del perfil (la quilla). Esta variación es constante e imposible de predecir, por tanto se han realizado ciertas suposiciones:

- Altura de ola máxima surfeable 5m, equivalente a 15pies.
- Geometría de la quilla conocida y coeficientes de sustentación y arrastre conocidos para diferentes ángulos de ataque.
- Densidad del fluido igual a la del agua pura: 9800N/m<sup>2</sup>
- Condiciones críticas de funcionamiento, maniobra crítica: Cutback.

Con éstas suposiciones y con la información que se adjunta en el Anexo titulado “Hidrodinámica y Cinética del Surf” en el que se habla de la ecuación de Hendricks se puede decir que la velocidad máxima de un surfista en una ola de 5m de altura será de:

$$V_{mas} \approx 11m / s$$

Esa es la velocidad máxima que se puede esperar que alcance un surfista en una ola de altura máxima de 5m. Esta velocidad es teórica y no comprende los esfuerzos de frenado a los que está expuesto el conjunto surfista-tabla por tanto es un valor superior al real. Esta diferencia de valores no hace sino permitir un diseño más seguro y la posibilidad de utilizar coeficientes de seguridad más bajos en el cálculo de las fuerzas.

Si ahora se piensa en la maniobra que más presión va a ejercer sobre una quilla en esas condiciones será el *Cutback*. En el mismo Anexo citado anteriormente se explica de qué consta ésta maniobra, pero resumiendo, se trata de dar un giro de 180º sin perder velocidad. Así pues, la quilla (cada una de ellas) estaría en el momento de mayor esfuerzo soportando una corriente de agua perpendicular a 6m/s. Esto es así pues la maniobra se realiza en la mitad superior de la ola, o lo que es lo mismo, en una ola de 2,5m de altura (mitad de altura vertical).

Hasta aquí la modelización del sistema es más o menos sencilla. Lo complicado es determinar la fuerza que esa corriente de 6m/s ejerce sobre cada una de las quillas. Aquí es donde se ha utilizado la Tesis Doctoral titulada “Hydrodynamics of Surfboard Fins” del Dr. David John Carswell presentada en el 2007 en la Universidad de Swansea, Reino Unido. Dicha Tesis trata de valorar las fuerzas a las que las quillas están expuestas durante una sesión de surf. Para ello, el Dr. Carswell realizó simulaciones mediante programas de elementos finitos del catálogo de quillas de la empresa californiana Red-X suministradas por el gerente de ésta Tom O’Keefe y validó sus resultados con ensayos en un tanque de pruebas. Éste trabajo de investigación tenía dos metas: una conocer las fuerzas que una quilla soporta y la segunda, derivada de la primera ser



capaz de diseñar una quilla con mínima fricción que permitiese al surfista alcanzar mayores velocidades. Desgraciadamente el segundo objetivo no pudo ser alcanzado pero para éste proyecto, la primera parte de la Tesis resulta tremendamente útil.

Si bien las suposiciones indicadas anteriormente parecen correctas o al menos lo eran para el Autor, resultaron ser tremendamente incorrectas al realizar las suposiciones. Las fuerzas eran a efectos prácticos enormes para ser soportadas por las quillas. Esto supuso una crisis importante, pues no existe más documentación pública que la empleada en torno a la velocidad de los surfistas. Para resolver el problema se recurrió a la ayuda de ciertos expertos en la materia, cuya información tuvo que suponer el Autor como cierta.

Los cálculos y razonamientos empleados en la obtención de las fuerzas que soporta la quilla en condiciones próximas a las reales están desarrolladas y especificadas en el anexo titulado “Hidrodinámica y Cinética del Surf” si el lector desea consultarlos. Las conclusiones alcanzadas por el Autor son las siguientes:

Fuerza	Newton	Kg
Sustentación	32,18	3,28
Arrastre	12,87	1,31
Momento eje x	1,696N.m	
Momento eje z	0,77N.m	

Éstas serán las fuerzas a las que se someterá al conjunto quilla-cajetín en las simulaciones que se realicen.

Además de los ensayos de resistencia con las fuerzas indicadas, sería interesante realizar ensayos de corrosión/desgaste y de resistencia al impacto, mediante ensayos Charpy.

Lo ideal sería disponer de un prototipo fabricado con las técnicas anteriormente expuestas sobre el que realizar los pertinentes ensayos. Dado que como el lector ya sabrá es imposible para el autor el desarrollo de un prototipo, éstos ensayos se limitarán a realizar simulaciones de deformación mediante un programa de elementos finitos.

Resumiendo, los ensayos a realizar sobre el prototipo serían los siguientes:

- Ensayo de resistencia y deformación del cajetín para las fuerzas determinadas como máximas y expuestas anteriormente.
- Ensayo a fatiga.
- Ensayo de resistencia al desgaste y envejecimiento del cajetín. (sólo con prototipo)
- Ensayo de fragilidad, Charpy. (sólo con prototipo)
- Medición de tiempo de montaje y desmontaje de un juego de 3 quillas y compararlo con la competencia (sólo con prototipo).

## 12 DISEÑO EN DETALLE

### 12.1 Diseño de Cajetín

Tras todas las fases previas llevadas a cabo y que el lector ha podido estudiar antes de llegar a éste capítulo, se ha realizado un diseño tridimensional del cajetín diseñado. Para generar el cajetín en 3D y obtener los planos de éste se ha utilizado el programa de CAD CATIA en su versión V5R17. CATIA ha sido utilizado por la variedad de posibilidades de diseño que ofrece el paquete así como por la posibilidad de realizar análisis con Elementos Finitos de forma sencilla.

Dado que gracias a documentos empleados a lo largo de éste PFC se han podido determinar las fuerzas aplicadas sobre una quilla de forma bastante aproximada, no era necesario un módulo de Elementos Finitos muy completo, por eso el de CATIA ha sido suficiente. Los resultados de las simulaciones realizadas se muestran más adelante en éste capítulo.

A continuación se muestran una serie de capturas del cajetín diseñado y de las piezas que lo componen.

La primera pieza y más importante es el cajetín. Se trata de la pieza que va instalada en la tabla de surf y en la que se apoya la quilla. Es la que soporta los esfuerzos que transmite la quilla y a su vez el elemento que los transmite a la tabla de surf y por tanto al surfista.

Su forma es elíptica, y si el lector recuerda el capítulo en el que se hace un estudio de la competencia, sabrá que el diseño del fabricante LokBox es

también elíptico. Esto resultó un grave problema pues el Autor desconocía si la forma elíptica estaba patentada o no para ésta aplicación. Tras cierto tiempo de investigación y tras la información proporcionada por Jim Robertson se comprobó que ni está patentado, ni en proceso de patente y no se piensa patentar. Esto propone serias dudas para la patente del producto que se estudiarán en profundidad en el último apartado de éste capítulo.

Además de la forma elíptica dispone de un agujero roscado donde un tornillo aprieta una pieza de goma y esa pieza ejerce presión sobre la quilla manteniéndola fija en el cajetín. Se consigue de esta forma la sujeción necesaria de la quilla para que ésta no se caiga, y además en caso de impacto contra el fondo la quilla se soltará sin ocasionar daños ni a la tabla ni al cajetín.

Para aumentar la rigidez axial se le ha añadido un nervio en un lado.

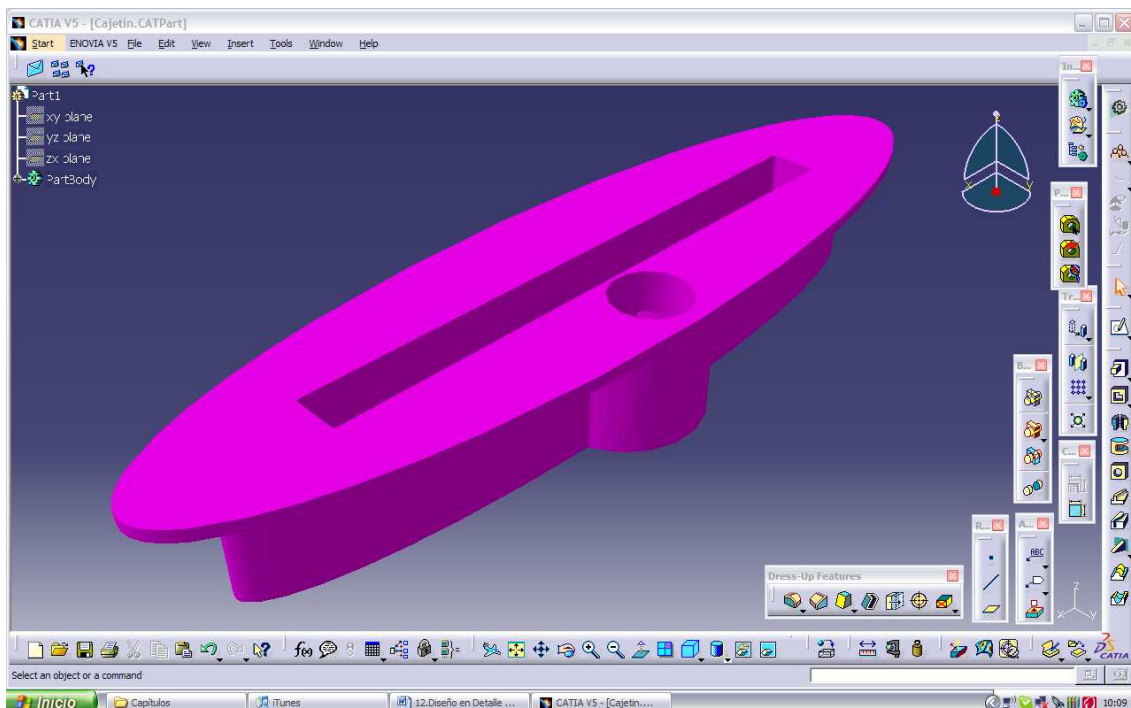


Figura 12.1: Cajetín. Vista 1.

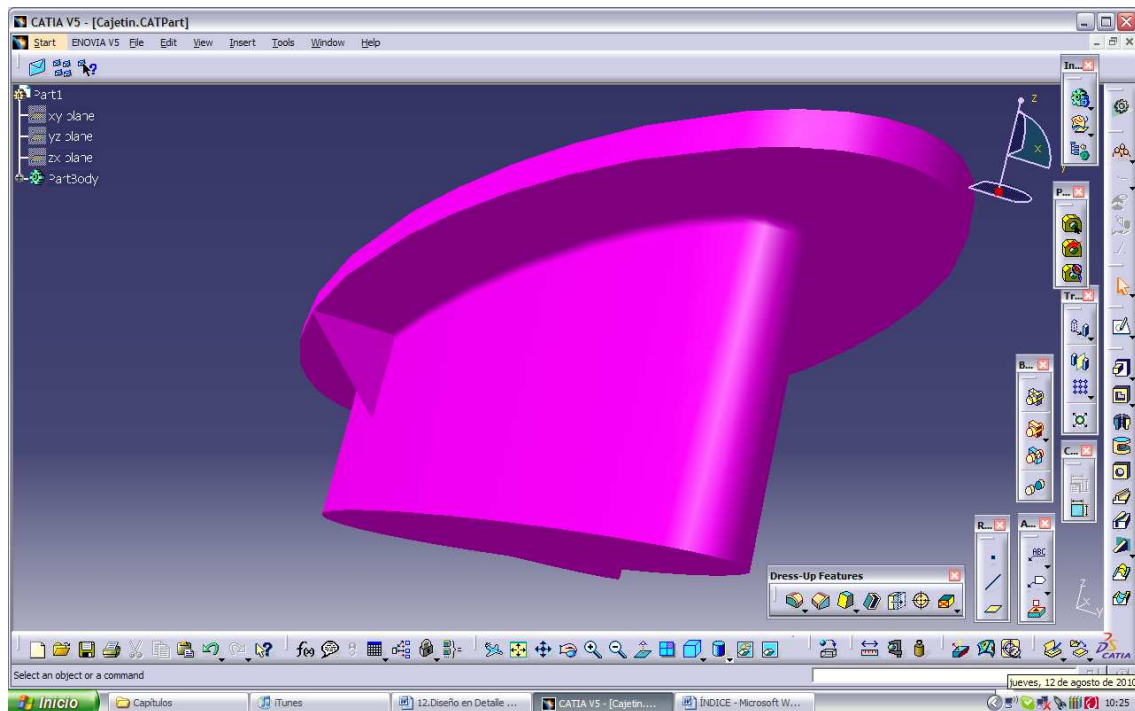


Figura 12.2: Cajetín. Vista 2.

La ranura de la quilla tiene forma de tronco de triángulo en la sección transversal. Esto se ha hecho así para que la quilla entre ligeramente presionada y la sujeción sea mayor que la que proporciona solamente la goma de apriete.

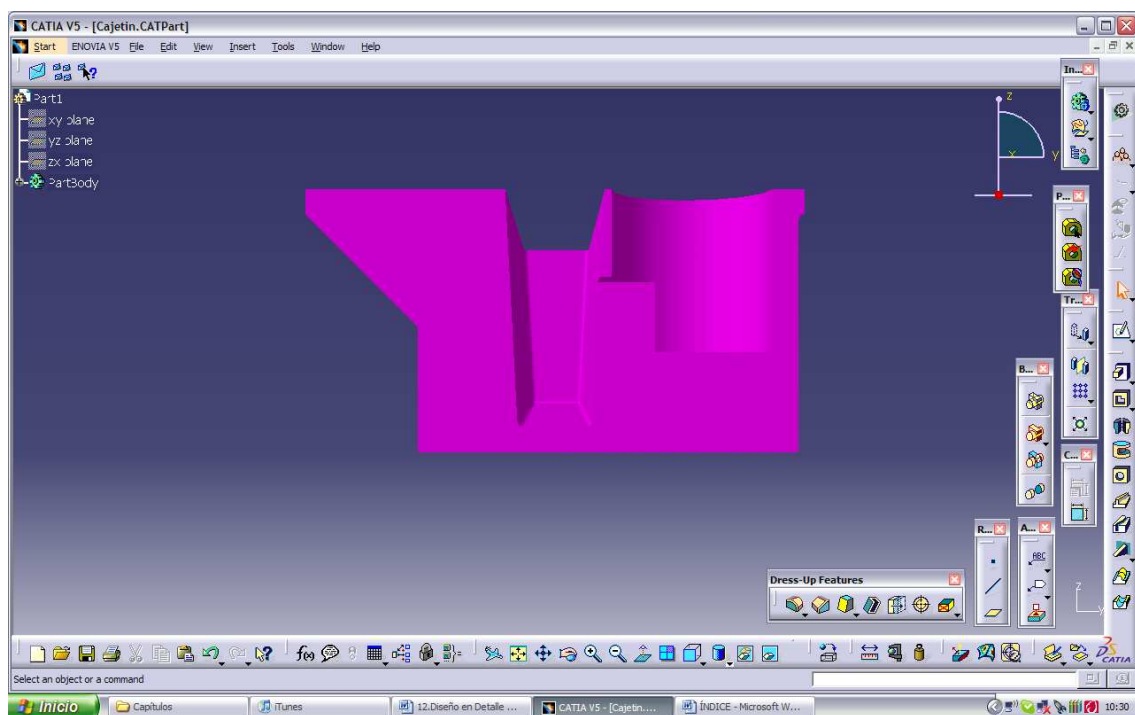


Figura 12.3: Cajetín. Vista 3.

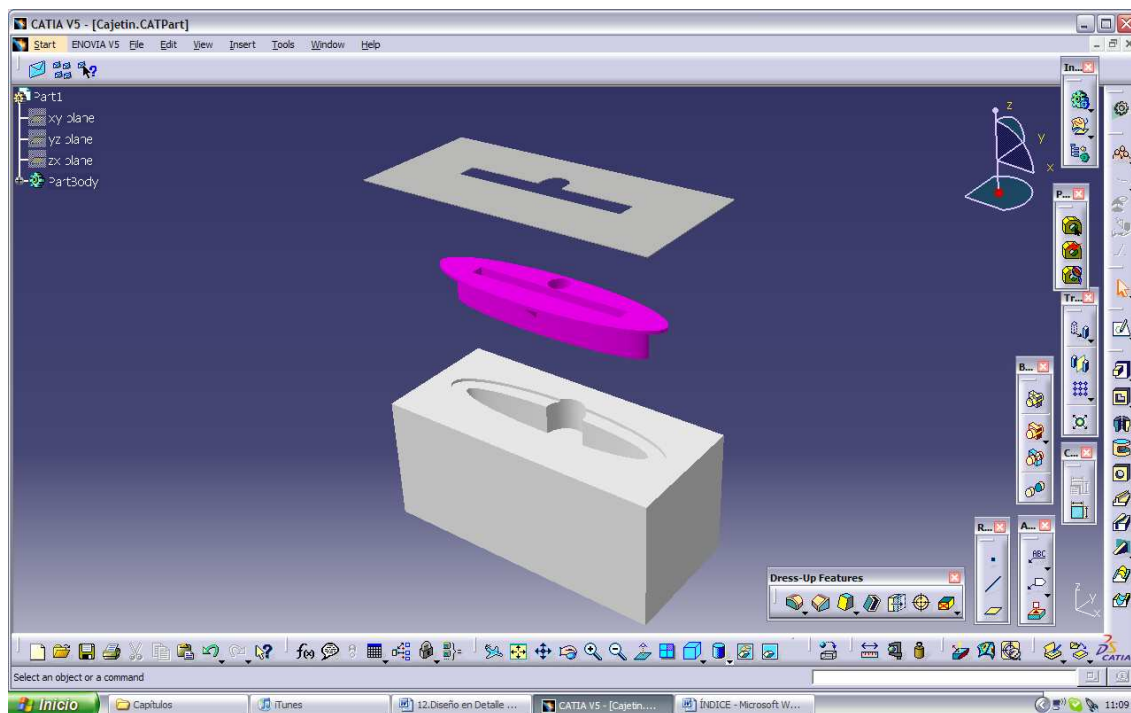
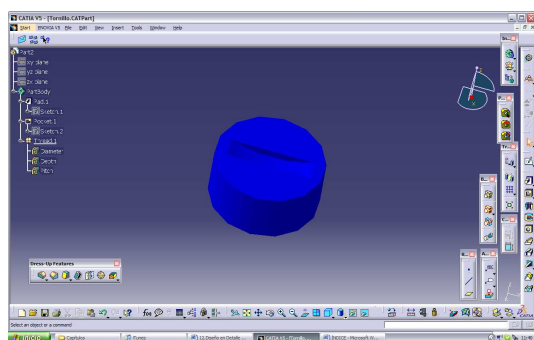


Figura 12.4: Cajetín – Foam – Fibra.

La figura 12.4 muestra la secuencia de montaje del cajetín. En el foam se talla, utilizando las herramientas diseñadas y que más adelante se muestran, el agujero para que entre el cajetín. En ése agujero se introduce el cajetín fijándola con una mezcla de fibra y microbalones y por último se recubre con fibra de vidrio. El agujero de la fibra se realiza gracias al pegado de unas pegatinas de 1mm de grosor antes de poner la fibra. Al lijar el poliéster, estas pegatinas levantarán la parte de fibra que hay que eliminar y la lijadora lo retirará dejando al descubierto la ranura de la quilla y el agujero del tornillo.



A continuación se muestra una pequeña figura del tornillo. Se trata de un tornillo del mismo material que el cajetín y que tiene una hendidura del mismo tamaño de una moneda de 2€ para su

apriete, aunque éste también se puede realizar con un destornillador plano estándar.

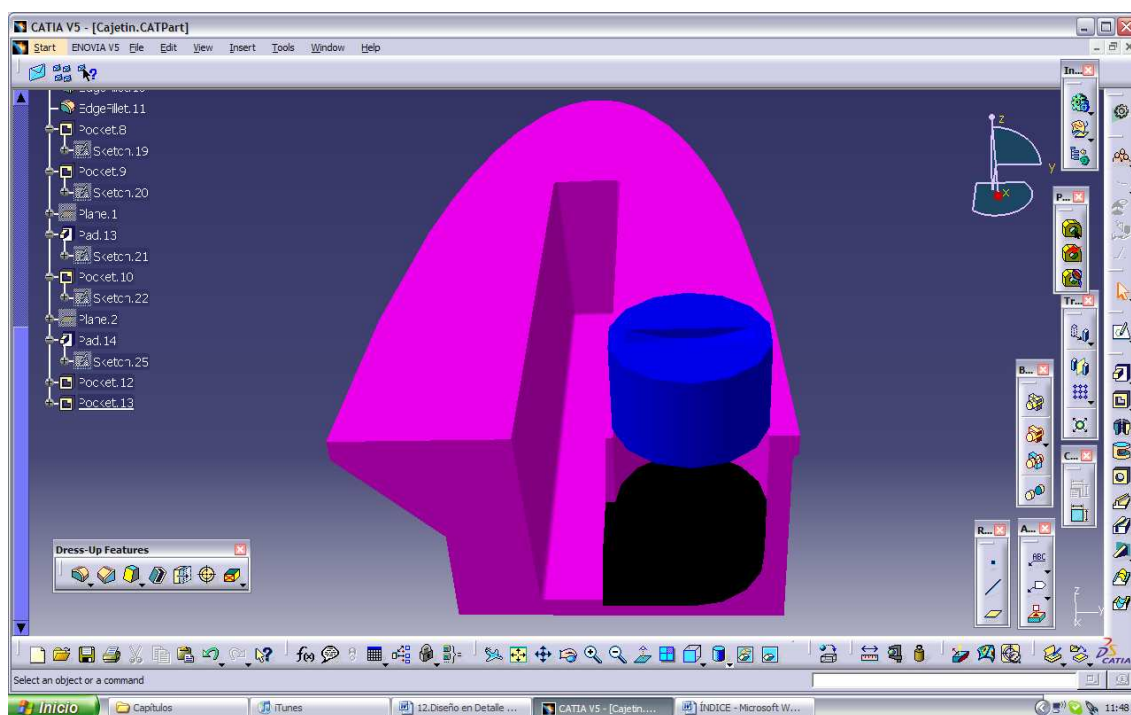


Figura 12.6: Conjunto Cajetín – Tornillo – Goma apriete.

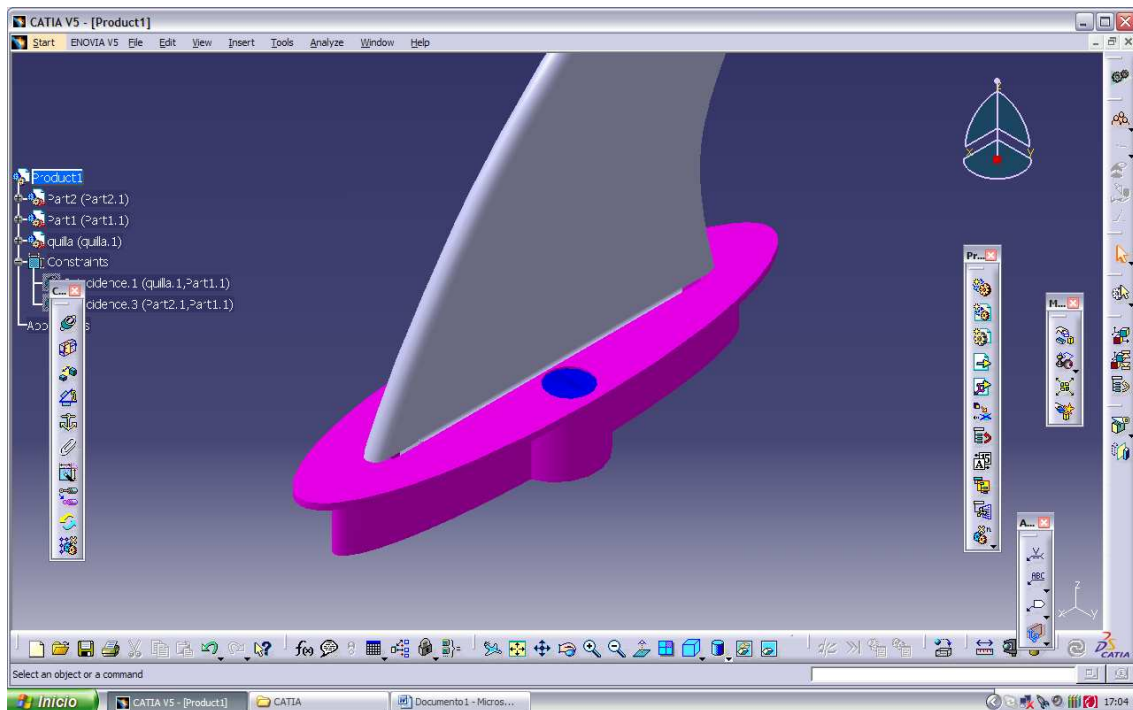
La ranura del cajetín diseñado tiene una longitud total de 100mm. Como se advirtió en las fases iniciales del proyecto, cuando se definieron las funciones necesarias en el producto según los usuarios y el diseñador, la posibilidad de regulación de la posición de la quilla resulta muy interesante.

Mediante el ajuste de la posición de la quilla el usuario puede variar las características de maniobrabilidad y agarre de la tabla y ajustarlos a sus preferencias personales. Esto proporciona al diseño una capacidad de customización que si bien es verdad sólo aquellos surfistas con un nivel medio podrán aprovechar al máximo, es interesante para todos los usuarios.



Para proporcionar al usuario esa posibilidad de ajuste, la parte que encaja en el cajetín de la quilla se ha hecho de 85mm de longitud, la más larga del mercado, lo que asegura una rigidez y resistencia mayor que sus competidores y además permite el ajuste de la posición en un rango de 15mm, también el más alto de la competencia.

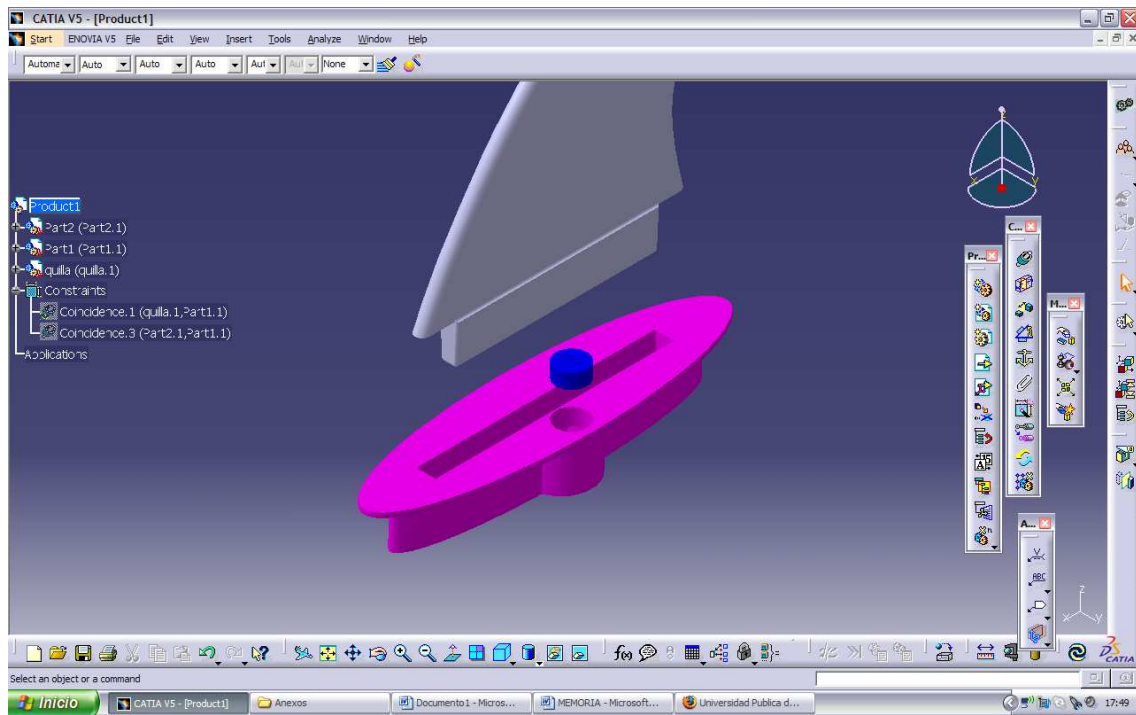
La forma en la que encajaría la quilla en el cajetín se puede observar en la siguiente imagen:



*Figura 12.6: Cajetín + quilla*

En la siguiente figura se puede observar el conjunto, en el que se han separado las piezas que lo componen para que el lector puede observar con mayor detalle la posición de cada elemento.





*Figura 12.7: Cajetín + quilla explosionado*

## 12.2 Materiales

En los requerimientos funcionales se habló de las propiedades que debía tener el cajetín en cuanto a resistencia, durabilidad, dureza superficial o resistencia a la corrosión entre otros.

Haciendo un análisis del producto diseñado, que consta de 3 piezas: Cajetín, tornillo de sujeción y goma de presión, se ha decidido que las dos primeras, para abaratar costes y simplificar la producción se realizarán del mismo material. Además tomando ésta iniciativa se evitan fallos por posibles deformaciones o incluso rotura del tornillo por la fuerza ejercida sobre éste.

Para la elección apropiada del material se han estudiando los parámetros numéricos que se establecieron en el QFD (en particular en la tabla de COMOs) como mínimos, y sus correspondientes tolerancias. Además se ha utilizado la biblioteca on-line de materiales metálicos, plásticos y cerámicos MatWeb. Se trata de una base de datos enorme, con más de 79000 materiales normalizados catalogados, con información de aplicaciones habituales, módulos elásticos, dureza, ensayos de fallo, y la posibilidad previo pago de importar dichos datos a programas de simulación CAD/CAM.

Con esa información y con la ayuda y consejo, una vez más, del Gerente de Red-X Fins, Tom O'Keefe se ha elegido el material Dow Isoplast® 2530 para la fabricación del Cajetín y del tornillo de fijación. Las características mecánicas más importantes se muestra en la siguiente tabla:

Propiedades físicas	S. Métrico
Densidad	1,22g/cc
Densidad fundido	1,22g/cc
Propiedades Mecánicas	
Módulo Elástico	1,86GPa
Dureza HRC	121
Charpy	0,9J/cm <sup>2</sup>
Deformación li. Elástico	6%

*Figura 12.8: Propiedades Dow Isoplast® 2530*

Además de que el material cumple con las condiciones impuestas en el proceso de diseño, presenta otras cualidades que lo hacen interesante como elección:

- Se trata de un material transparente al 93%. Como el lector recordará, uno de los requerimientos funcionales de carácter estético es que fuese de colores, atractivo. Mediante el uso de aditivos y colorantes podrán fabricarse piezas de color que resulten más atractivas para el consumidor.
- Temperatura de fusión baja, lo que permite una fabricabilidad más rápida y con menor gasto energético, lo que es más ecológico. Aspecto éste también importante.
- Es inocuo. Así lo demuestra su rango de utilización que puede llegar incluso a la de fabricación de material quirúrgico. Por tanto puede emplearse sin riesgo para las personas o el entorno.
- Resistencia a la humedad y a los ataques químicos, por tanto resistirá bien la corrosión.
- Baja dilatación térmica.
- Ausencia de envejecimiento.

Por tanto resulta un material ideal para la fabricación de las dos piezas indicadas.

La goma que sujetará la quilla gracias a la presión ejercida sobre ella por el tornillo estará fabricada en goma natural. Se ha pensado en goma natural vulcanizada, pero debido al vulcanizado su dureza aumenta, lo que la descarta pues tiene que deformarse mucho con poca presión.

La goma natural presenta ciertas desventajas, principalmente su vulnerabilidad a ambientes agresivos como el mar, pero realmente no supone un problema tan grande como el de el deterioro del catejín, pues la goma siempre se podrá cambiar en caso de que se deteriore. Algunas de las propiedades de la goma natural:

Propiedades físicas	S. Métrico
Densidad	0,95g/cc
Propiedades Mecánicas	
Módulo Elástico	0,0005 GPa
Rango de temperatura	-50°C-80°C
Deformación li. Elástico	100-800%

*Figura 12.9: Propiedades goma natural*

## 12.3 Fabricabilidad

Como se ha dicho anteriormente, el cajetín y el tornillo se van a fabricar de un material de tipo polímero. Para ser exacto se fabricará del material Dow Isoplast® 2530 que cumple con los requisitos identificados en las fases previas del proceso de diseño.

Determinado el material, hay que definir el método con el que se fabricarán las piezas. Si bien esta fase no pretende ser demasiado extensa, pues hay una rama de la ingeniería dedicadas exclusivamente a la fabricación de piezas mediante polímeros, si que pretende dar al lector unas nociones básicas de los métodos de fabricación que se pueden emplear para la fabricación de las piezas.

Existen diferentes tipos de procesos de fabricación de piezas mediante polímeros. Los más importantes son la Extrusión, y la Inyección de los cuales a continuación se hace una breve descripción.

### 12.3.1 Moldeo por Extrusión

La extrusión de polímeros es un proceso industrial basado en la generación de piezas basado en el principio de la extrusión. El polímero fundido (o en estado semifundido) es forzado a pasar a través de una boquilla, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo (mediante el tornillo de Arquímedes). El husillo gira concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas llamada cañón, con una separación milimétrica entre ambos elementos. El material polimérico es alimentado al sistema por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con el perfil

geométrico deseado. Éste perfil queda definido por la boquilla empleada a la salida del cañón.

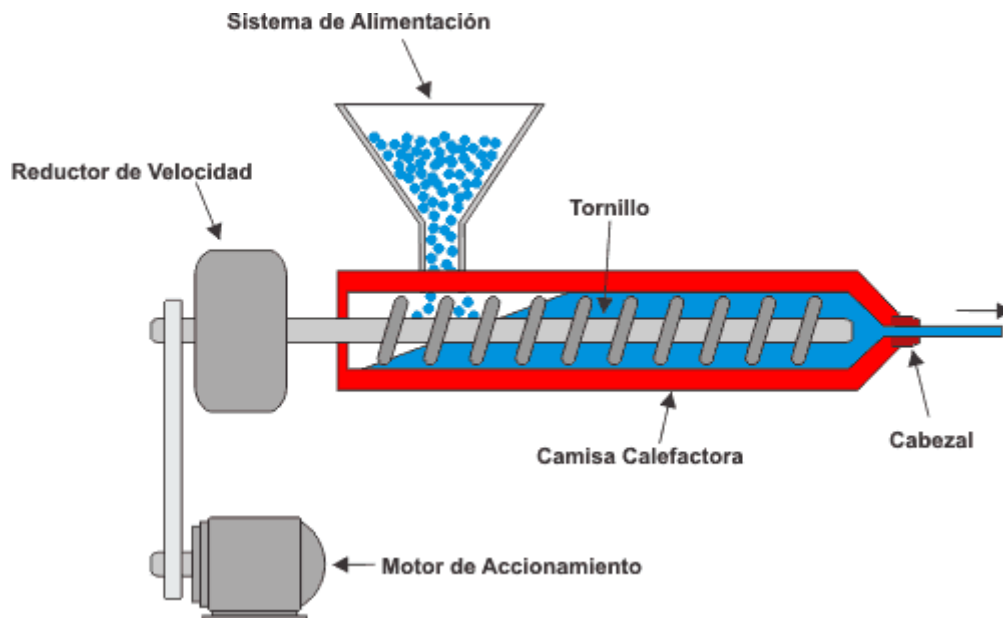


Figura 12.10: Moldeo por extrusión. Esquema.

Dada la naturaleza de la extrusión, ésta es indicada para la realización de piezas cuyo perfil sea igual a lo largo de toda la pieza: cables, tuberías, etc.

Existe una variación de la extrusión, denominada Moldeo por Soplado que sirve para generar piezas en las que gran parte de su volumen se hueco: botellas, bidones, etc. A diferencia de la Extrusión convencional que es un proceso continuo, éste es un proceso semicontinuo que se realiza en dos fases: Extrusión de una cantidad determinada de polímero fundido e hinchado de ese polímero generando la pieza deseada.

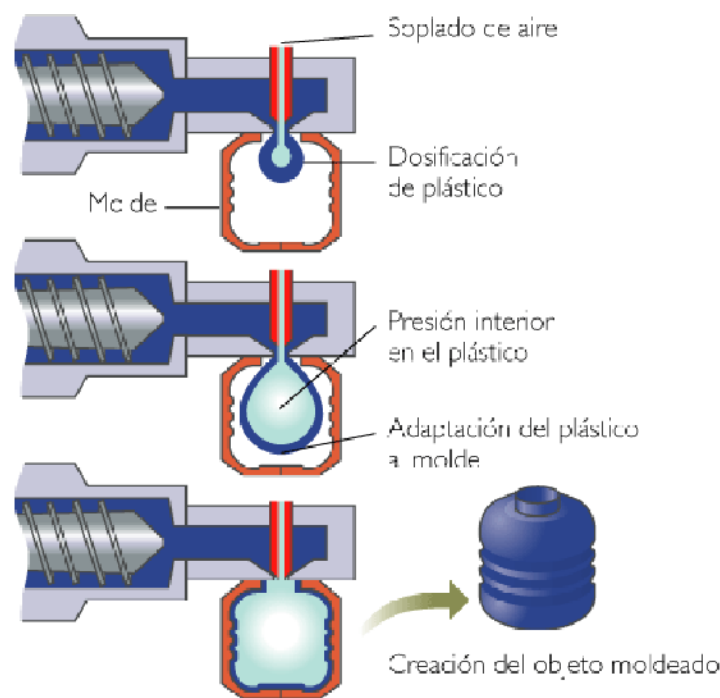


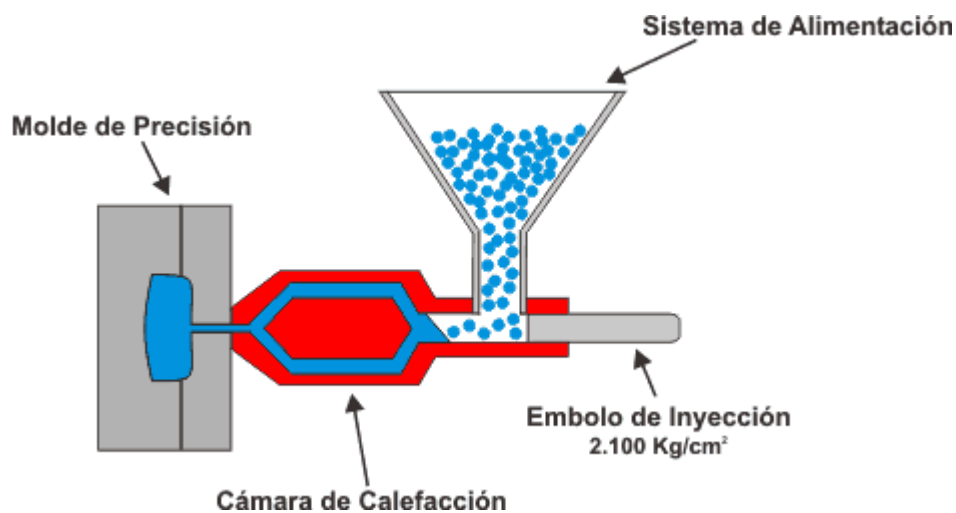
Figura 12.11: Moldeo por Soplado. Esquema.

### 12.3.2 Moldeo por Inyección

El otro método más utilizado de fabricación de piezas a partir de polímeros fundidos es la inyección. Se puede definir como un proceso semi-continuo que consiste en inyectar un polímero o un material cerámico en estado fundido en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica debido en gran parte a la diferencia de temperaturas entre polímero y molde. La pieza final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

La inyección es de gran aplicación industrial debido entre otros a la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, la rapidez en la que se fabrican, la fabricación mediante éste proceso de prototipos rápidos y sus variaciones, altos

niveles de producción y bajos costos, alta o baja automatización según el costo de la pieza o que es capaz de generar geometrías complicadas (como en este caso) que serían difícilmente o incluso imposibles de fabricar mediante otras técnicas. Además de éstas ventajas, las piezas moldeadas requieren muy poco o nulo acabado pues son terminadas con las características superficiales como rugosidad, transparencia, dimensiones deseadas. Las tolerancias son buenas, por tanto no es necesario otro proceso para acabar las piezas, y el color puede ser modificado cambiando la materia prima o con la adición de ciertos aditivos.



*Figura 12.12: Moldeo por Inyección. Esquema.*

Teniendo en cuenta las ventajas que presenta la inyección frente a otros métodos de fabricación y estudiando en detalle los requerimientos identificados y las funciones que el producto debe tener en las fases previas como Pliego de Condiciones Funcional, QFD y AMFE, la Inyección por Moldeo es, sin duda, el mejor método para la producción en masa del producto.

Es importante apuntar en éste apartado, que si bien es parte vital del proceso de fabricación, el estudio de los moldes apropiados para la fabricación



de las piezas no se ha llevado a cabo. Éste es un campo de enrome complejidad en el que el Autor de éste PFC no se ha aventurado, quedando junto con el estudio de la viabilidad económica como pendiente.

## **12.4 Herramientas de instalación**

Como se ha indicado en múltiples ocasiones en capítulos anteriores y tal y como se manifestó en el Pliego de Condiciones Funcional, que el cajetín tenga unas herramientas y una metodología de instalación sencilla y eficaz es fundamental para el éxito del diseño.

En éste apartado se muestra un resumen del proceso de diseño de las herramientas necesarias para instalar correctamente el cajetín de sujeción en una tabla de surf. Las instrucciones completas así como los planos y características de los materiales con los cuales se fabricarán dichas herramientas se adjuntan en los Anexos de éste informe.

Para la instalación del cajetín correctamente en la tabla de surf se ha diseñado un kit de instalación adecuado. Dicho Kit consta de diferentes elementos:

- Plato de Vacío
- Plantilla 1
- Plantilla 2
- Centrador

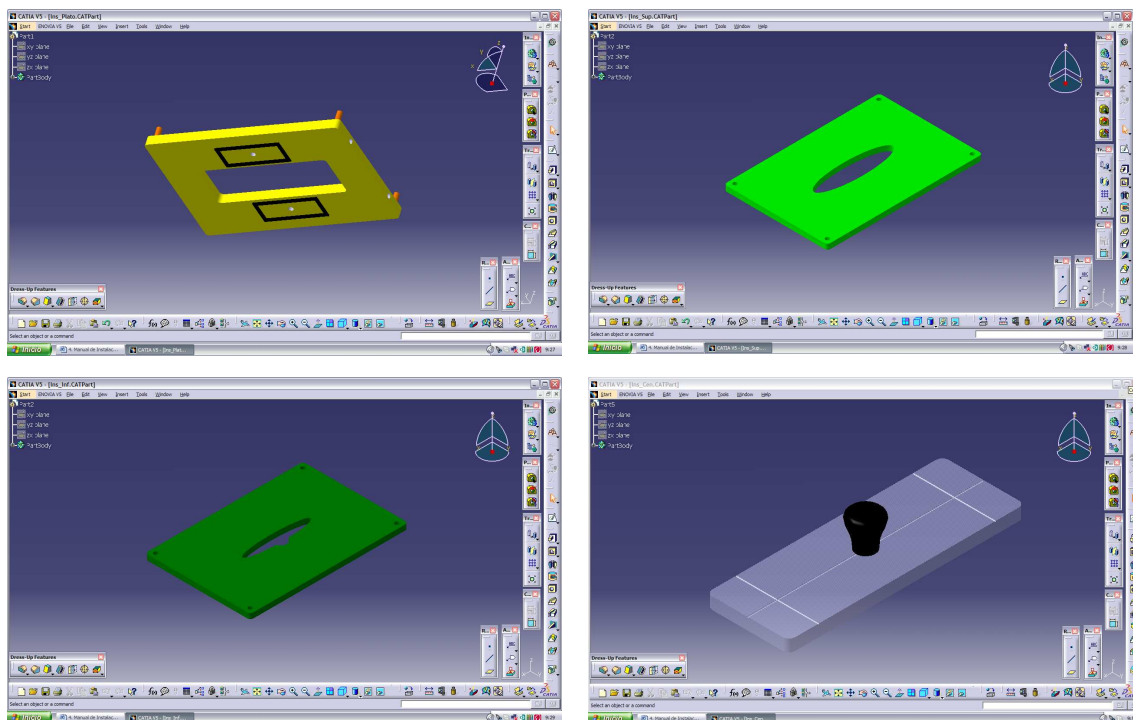


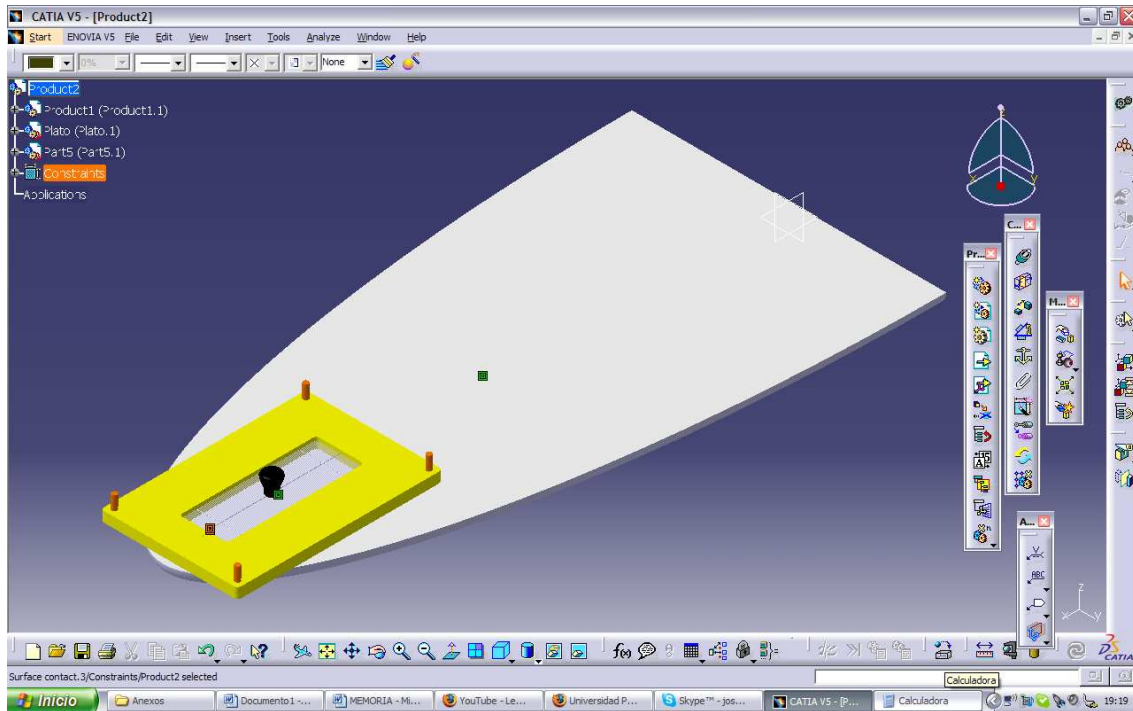
Tabla 12.13: Kit de Instalación

Una vez *shapeado* (se le ha dado la forma definitiva) el foam, hay que recubrirlo de fibra de vidrio que se endurecerá con poliéster para darle la impermeabilidad y resistencia requeridas. Antes de hacer eso se debe instalar el cajetín diseñado. Para ello es necesario que tallemos en el foam una cavidad con la misma forma que el cajetín, o similar, y en la posición y orientación adecuada. Para realizar tal menester correctamente, que no es nada fácil, se han diseñado unas herramientas específicas.

Dado que la posición en la que se coloca el cajetín es crítica en el diseño global de la tabla de surf, las herramientas diseñadas permiten realizar en un único intento y sin posibilidad de error la cavidad necesaria. Para ello se usa un plato que mediante la creación de vacío, se pega a la tabla de surf.

El plato que succiona aire lo hace gracias a la conexión de este a un circuito neumático de baja presión de al menos 3,5Bar de presión y un caudal de

25L/min. Un compresor de dichas características ejercería una fuerza de sujeción del plato a la tabla de aproximadamente 7 Kg, suficiente para asegurar la buena fijación a la tabla durante la operación de tallado. La posición en la que se fijaría el plato para tallar la ranura para el cajetín central se muestra en la siguiente figura.



*Figura 12.14: Plato de instalación sobre tabla*

Una vez fijado el plato de sujeción, sobre éste se colocan las plantillas que nos guiarán para el tallado correcto. Éstas plantillas se fijan al plato de sujeción mediante unos espárragos que centran en la posición adecuada la plantilla. Hay dos plantillas pues el tallado a realizar es de dos alturas. Para realizar la operación es necesaria la utilización de una fresadora vertical de mano que pueda medir la profundidad de pasada.

Una vez realizado el tallado, se introduce el cajetín ejerciendo ligera presión sobre éste para que los nervios rigidizadores marquen el foam. Se comprueba su verticalidad con una escuadra.

A continuación se hacen 40ml de una mezcla de poliéster y microbalones al 50% en volumen. Se vierten 10ml en cada uno de los agujeros realizados y se introduce un cajetín en cada agujero hasta que éste no sobresalga. Se limpia rápidamente el exceso de mezcla. Se comprueba la verticalidad de cada cajetín y se deja secar al menos 1 hora.

Una vez transcurrida la hora de secado, se coloca sobre cada cajetín una pegatina y se lamina toda la tabla con fibra y poliéster de forma convencional. Tras finalizar el proceso de laminado y lijado de la tabla, la pegatina debería haberse lijado, dejando al descubierto la ranura y agujero del cajetín. En caso contrario utilizar un cutter o cuchilla para retirarla.

Introducir la goma de presión y el tornillo fijador y el sistema ya quedaría listo para la utilización. Sólo falta dejar que la tabla cure durante 2-3 semanas en un lugar templado y seco para que la resina adquiera sus propiedades mecánicas idóneas.

El proceso tan resumido puede resultar complejo, por tanto el Autor recomienda al lector que consulte en caso de duda el “Manual de Instalación” que se adjunta en los anexos de éste informe.

## 12.5 Adaptadores

Como se ha dicho antes, existen multitud de modelos de quillas en el mercado. Cada fabricante tiene su catálogo, tratando de ofrecer a cada cliente una quilla de su gusto. Y para ser sinceros, los gustos de los surfistas son muy variados. Basta dar una vuelta por una playa en la que se haga surf para darse cuenta de que casi cada surfista usa unas quillas diferentes.

Dada ésta gran variedad de modelos de quillas ofertadas por otros fabricantes resulta muy difícil luchar contra la fidelidad de un usuario hacia un cierto modelo de quilla por tanto la compatibilidad del cajetín diseñado con los de la competencia será pieza clave para el éxito del cajetín entre los consumidores.

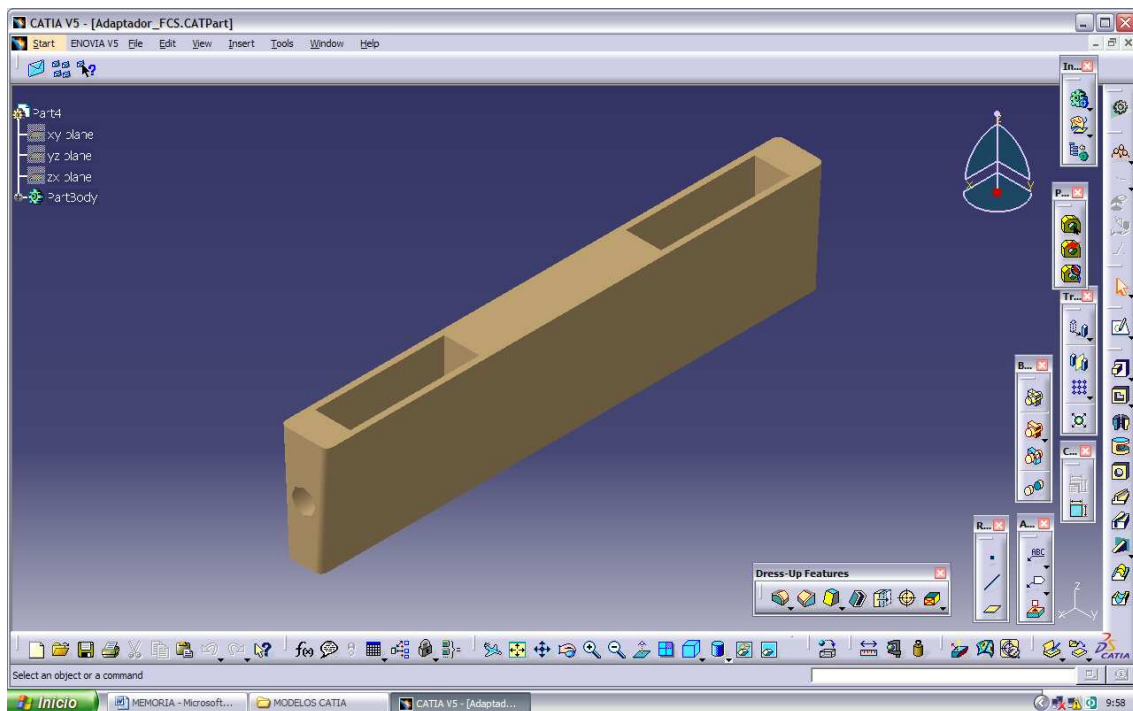
Si bien éstos adaptadores permiten la utilización de quillas de otros fabricantes en éste sistema, es cierto y hay que apuntar que la efectividad de éste último no será la misma. Éste sistema se ha diseñado para que las deformaciones y por extensión la pérdida de energía en los cajetines al transmitir los esfuerzos de la quilla a la tabla y viceversa sean mínimas. Esa propiedad que le hace destacar frente a la competencia (además de en otros aspectos) no será tan notable con el uso de adaptadores.

Como los dos fabricantes con mayor catálogo de quillas son FCS y Futures Fin Co. respectivamente, se han realizado adaptadores para esos sistemas.

### 12.5.1 Adaptador FCS

Se trata de un pequeño listón en el que las dos pequeñas bases del sistema FCS encajan a la perfección y la quilla se sujeta al listón mediante dos tornillos que se aprietan desde los extremos de éste.

La tolerancia de los orificios donde entra la quilla del fabricante FCS, así como la del exterior de la pieza han de ser buenas pues de ellos depende directamente que la fijación se realice correctamente y por tanto que el cajetín resulte eficaz.



*Figura 12.15: Adaptador para quillas del fabricante FCS*

### 12.5.2 Adaptador Futures

Muy parecido al utilizado para emplear quillas FCS, pero debido a la forma de la base de las quillas de Futures Fin Co. es sólo necesaria la sujeción de la quilla al cajetín mediante un único tornillo.

Al igual que en el adaptador anterior, las tolerancias son críticas en la eficacia del sistema, por tanto es necesario que en el proceso de fabricación exista un control particularmente exhaustivo en éste aspecto.

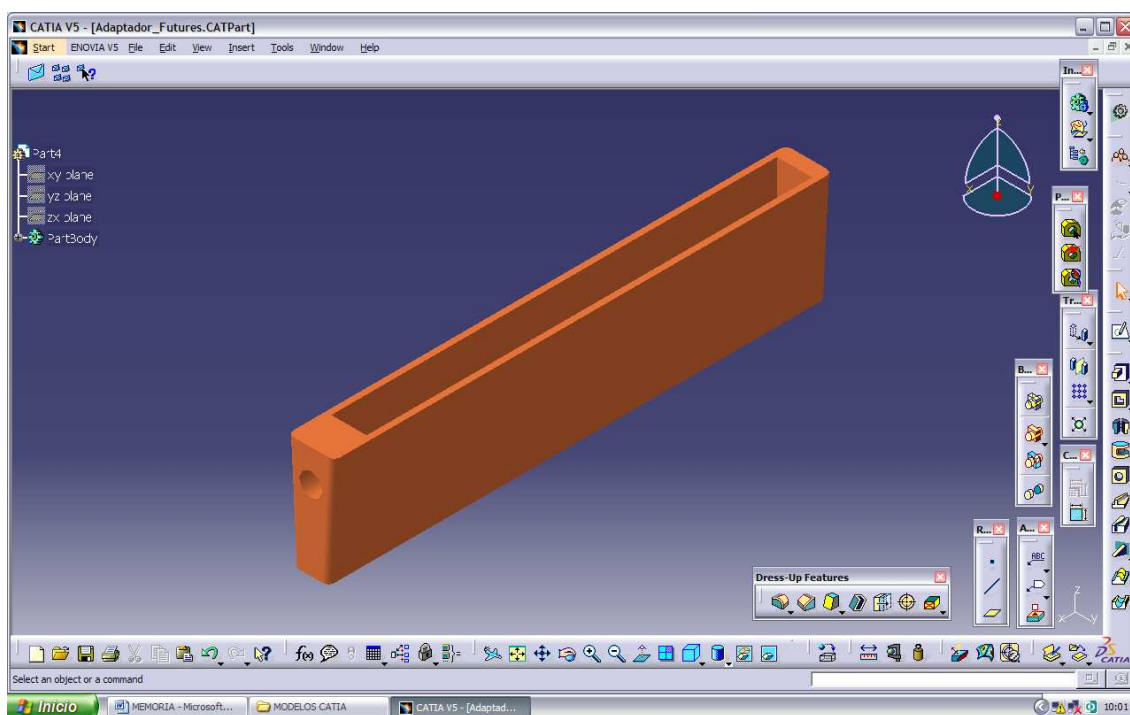


Figura 12.16: Adaptador para quillas de Futures Fin Co.

## 12.6 Validación del Diseño

La validación del diseño se ha realizado exclusivamente por métodos informáticos. Para tal efecto se ha empleado el módulo de Elementos Finitos del programa CATIA en su versión V5R17.

En un primer lugar se pensó en la utilización de programas de Elementos Finitos más potentes como ANSYS o ABAQUS. Esa posibilidad quedó rápidamente descartada por la naturaleza de las simulaciones a realizar. Siendo estudios estáticos de piezas relativamente sencillas en los que las fuerzas eran ya conocidas pues se habían calculado anteriormente, CATIA permitía realizar simulaciones para determinar las deformaciones de cada uno de los sistemas de la competencia así como el diseñado y compararlos para determinar la eficacia del diseño de éste último. Además, la utilización del mismo paquete de software en todo el proceso eliminaba los farragosos procesos de importación de modelos de uno a otro software. Las simulaciones se realizaron mediante la función *Generative Structural Analysis* del módulo *Analysis & Simulation* de CATIA.

Dado de CATIA dispone de una librería ya precargada de materiales para la realización de las simulaciones, la simulación de todos los sistemas realizada se realizó con el material *Plastic* con Módulo Elástico de 1,8GPa a fin de determinar la estructura más rígida.

El material de todos los sistemas es diferente y por tanto dará lugar a diferentes comportamientos, pero recordando los parámetros de los que depende una estructura, que son el Módulo Elástico y la Geometría, si el diseño realizado es más rígido que los competidores, con el material elegido que es de mayor Módulo de Young que el resto, confluirá en un sistema más rígido que



los de la competencia. A continuación se muestran unas imágenes de las simulaciones realizadas, y seguidamente una valoración extraída de ellas.

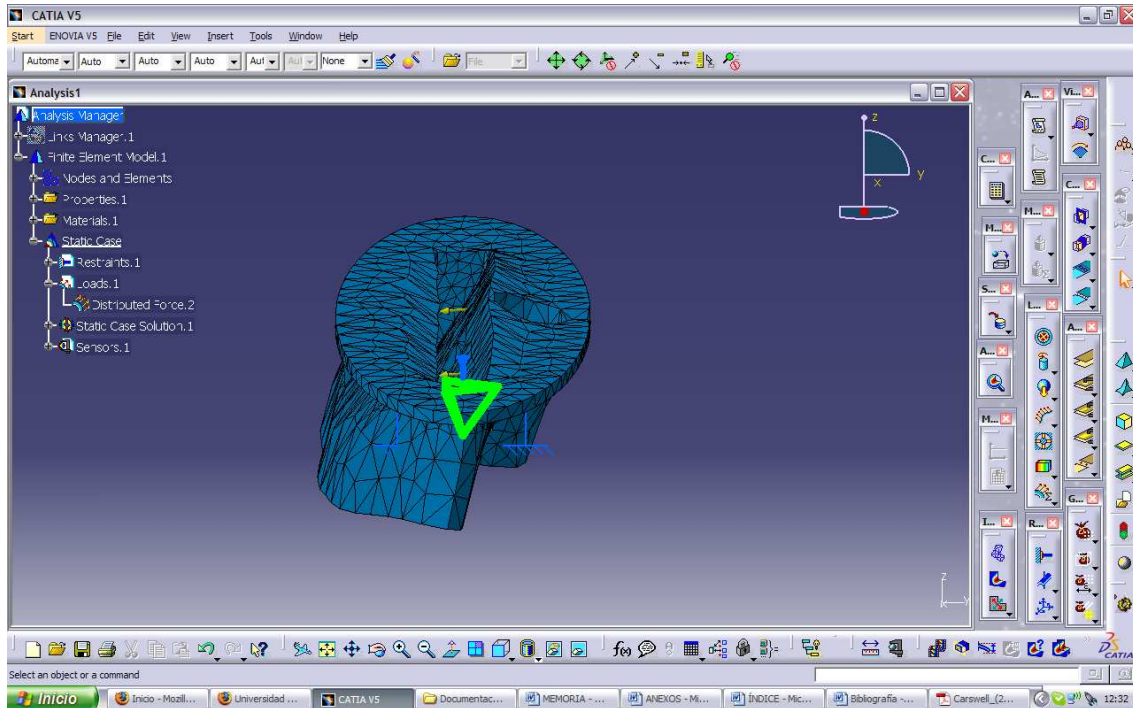


Figura 12.17: Análisis estático del Cajetín diseñado.

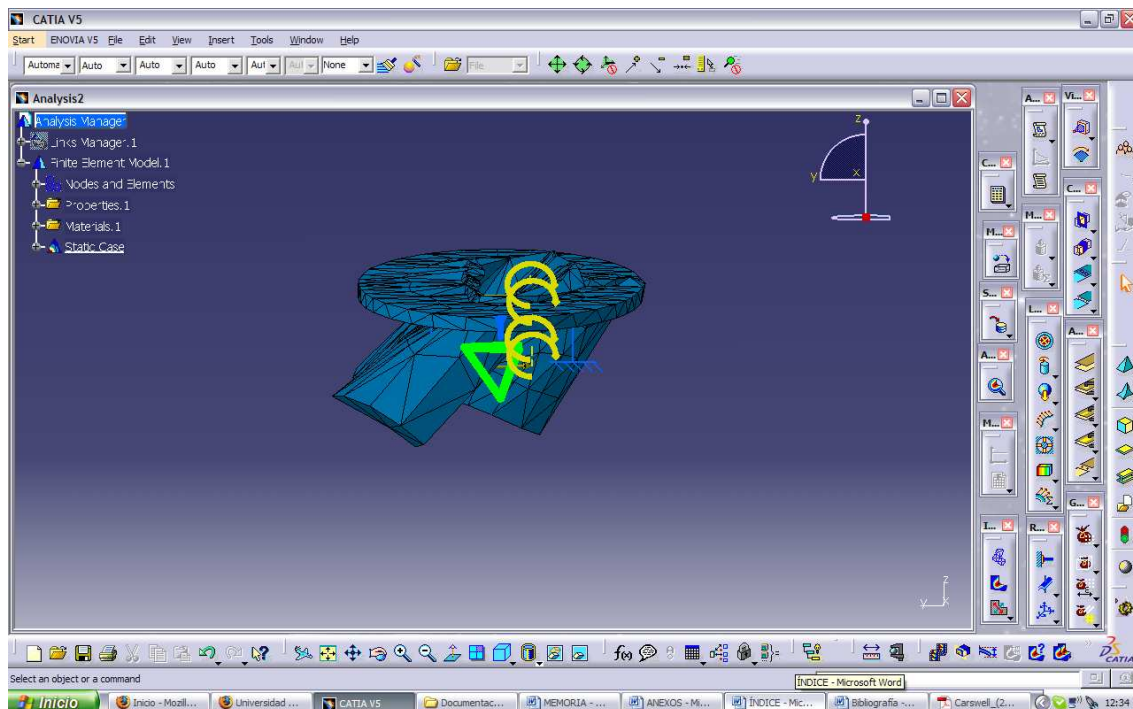


Figura 12.18: Análisis estático del cajetín LokBox

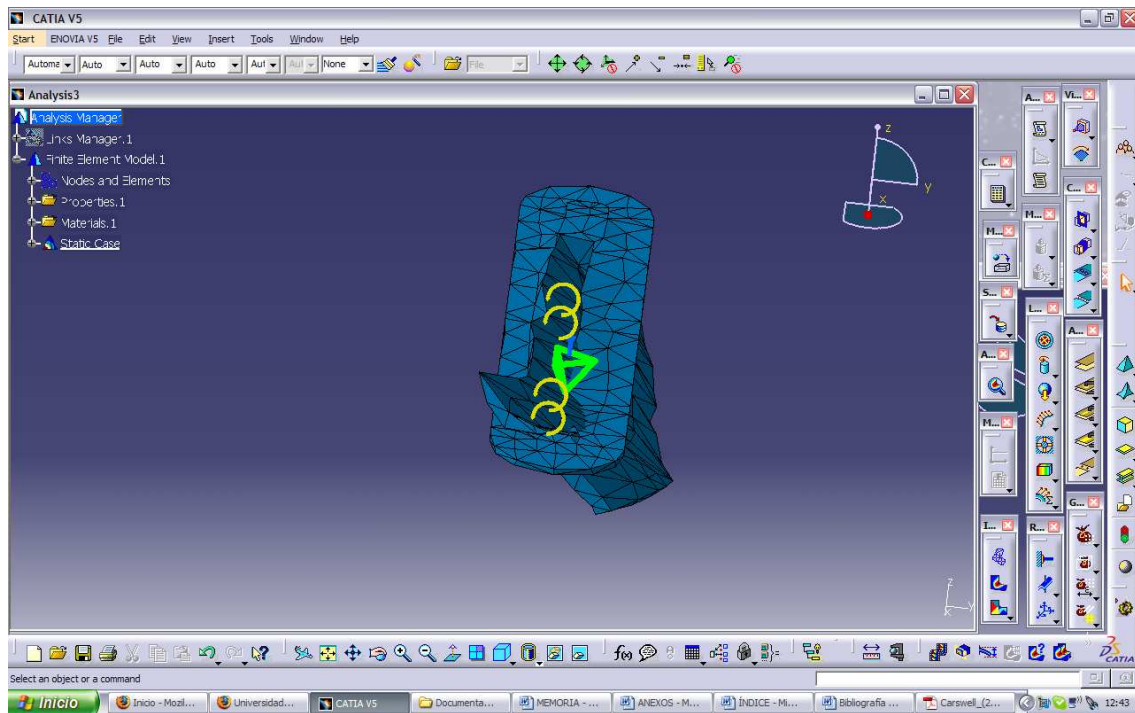


Figura 12.19: Análisis estático del cajetín Futures

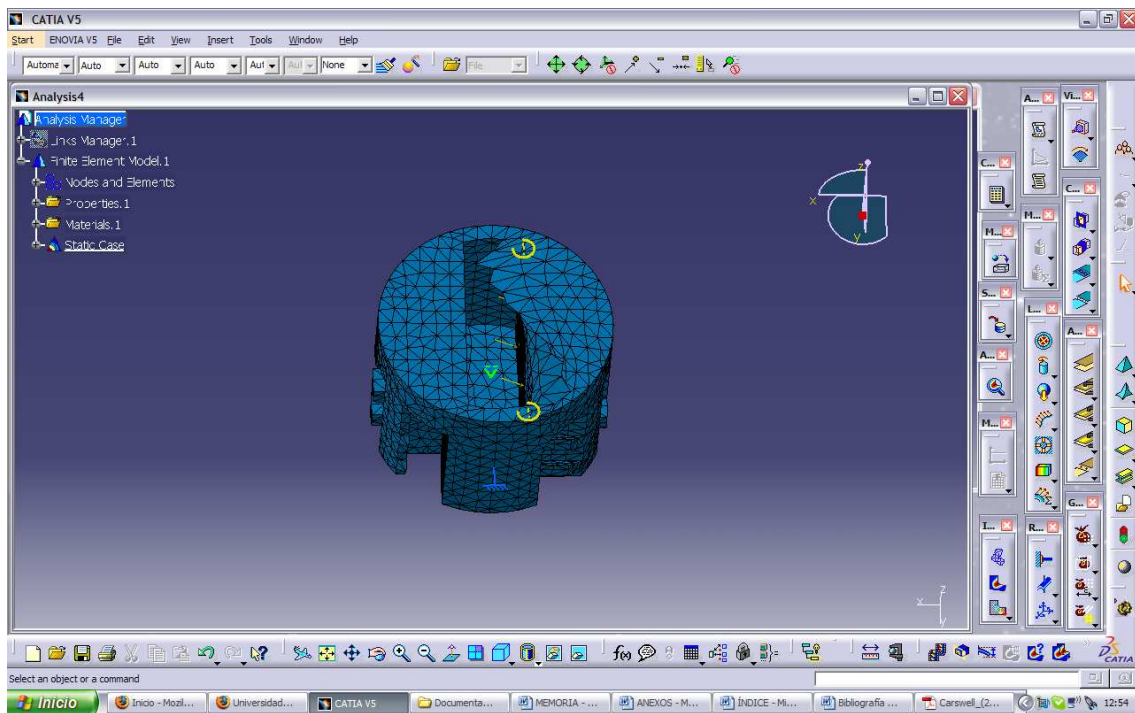


Figura 12.20: Análisis estático del cajetín FCS

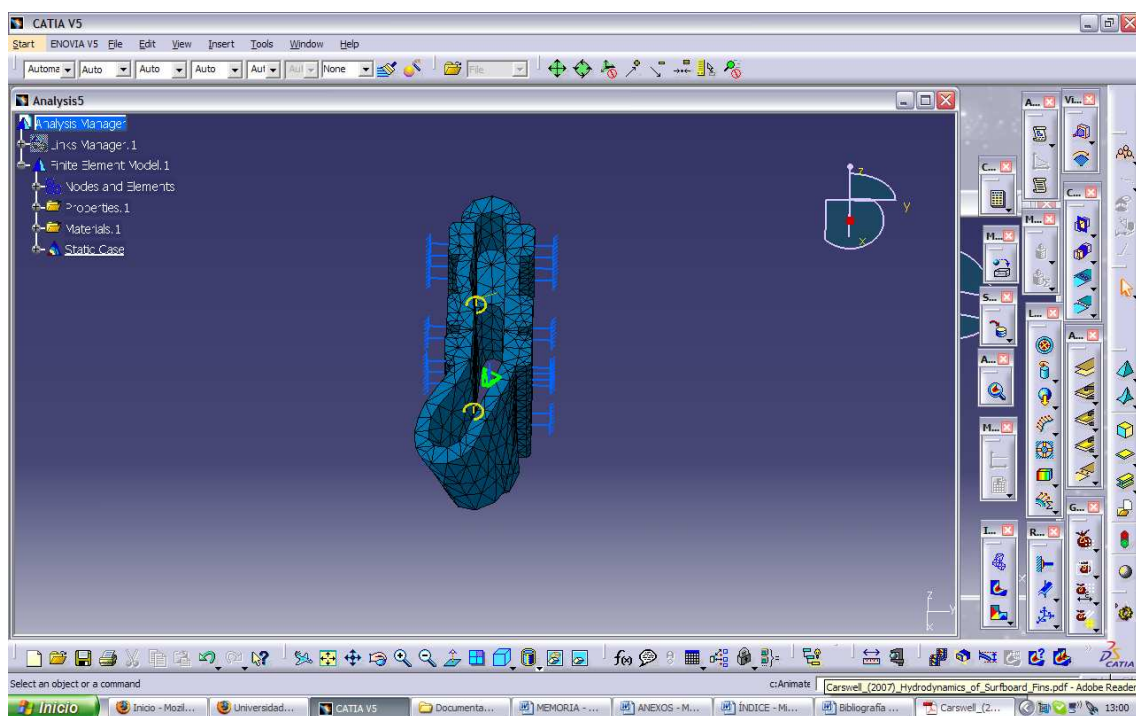


Figura 12.21: Análisis estático del cajetín RedX

Una vez realizado el análisis estático de todos los cajetines estudiados, bajo las condiciones indicadas en el Anexo 4, es necesaria una valoración de los resultados.

	Def. Máxima (mm)	Error (J)	Tensión max. (Von Misses)
Diseño1	1,07	4,12 e-8	1,24 e5
LokBox	14,7	1,06 e-5	1,48 e6
Futures	6,55	8,24 e-6	1,95 e6
FCS	14,4	1,21 e-5	1,83 e7
RedX	25,5	1,6e-6	2,18 e6

Figura 12.22: Resultados de deformación, tensión y errores máximos en análisis estático.

De la tabla anterior se pueden extraer varias conclusiones.

- La modelización de la sujeción del cajetín es crítica. De ahí la gran disparidad de resultados obtenidos en el análisis.
- El cajetín diseñado es el que menos deformación presenta ante igualdad de materiales.
- El error estimado en el mallado automático es el menor.
- La tensión que soporta el cajetín diseñado es la más baja de todos los estudiados.

Esto da lugar a unos datos de interés que el lector agradecerá. Para evitar ser repetitivo, el Autor denominará Cajetín al cajetín diseñado en este PFC a partir de ahora.

- Es un 84% más rígido que su inmediato competidor.
- Está fabricado en un material de mayor módulo elástico que la competencia.
- Su peso de 49gr por cajetín está por debajo de lo requerido (50gr)
- Es resistente a la corrosión
- No envejece por acción de la radiación solar
- Material duro, no se desgasta con el uso.
- La quilla saldrá antes de deteriorar la tabla (ranura inclinada)
- Compatible con otros sistemas (adaptadores)

La gran mayoría de los requerimientos definidos en las fases iniciales del proyecto son satisfactoriamente cumplidos por el diseño realizado. En ese aspecto puede considerarse un éxito.

Si es verdad que hay un punto que no se ha conseguido solucionar como cabría esperar. Se trata de la flexibilidad longitudinal. Se identificó un

requerimiento, asociado a las nuevas tendencias de diseños de tablas de surf relacionado con la flexibilidad longitudinal. Si bien es verdad que interesa que la quilla esté rígidamente sujeta a la tabla de forma axial, longitudinalmente interesa justo lo contrario, es decir que el sistema de sujeción permita a la tabla flexar sin ninguna restricción.

Lamentablemente no se ha sabido dar con una solución a este problema. El Autor considera que para la obtención de un sistema de fijación que se comportase de tal forma, sería necesaria la utilización de materiales no isótropos, como los materiales composites, que fuesen muy rígidos en una dirección y muy flexibles (como el foam) en otra. La utilización de éstos materiales, limitaría su producción en serie así como elevaría enormemente los gastos de producción por lo que un diseño tal, sería un tema a tratar profundamente.

En lo referente al resto de requerimientos importantes jerarquizados en el QFD, el Autor considera que el diseño responde a las necesidades ampliamente o incluso las supera, dando lugar a un diseño eficaz y de calidad.

## **12.7 Protección del Diseño**

Anteriormente a lo largo de ésta Memoria se ha hablado de la protección de los diseños existentes. Más concretamente se habla de éste aspecto en el estudio de la competencia.

La creación de un diseño diferenciado de lo existente hasta el momento de dicha creación debe de ser protegido de alguna forma. Sin duda, teniendo en cuenta esta afirmación, resulta sorprendente la posición adoptada y manifiesta

del fabricante LokBox, que no dispone de patente ni de ninguna fórmula legal que proteja su diseño. En parte, el diseño desarrollado en este PFC se ha podido beneficiar de dicha situación especial, empleando rasgos del diseño del cajetín de LokBox y mejorándolos.

En este momento final del proyecto surge por tanto la incertidumbre de qué hacer para proteger el diseño desarrollado frente a posibles competidores. Y más allá, cómo conseguir transmitir al usuario un sentimiento de confianza y de calidad.

#### **12.7.1 Mercado CE**

El mercado CE es sólo aplicables a aquellos productos que cumplan la normativa comunitaria íntegra que les es aplicable. Como se ha dicho en los apartados iniciales de ésta Memoria, las tablas de surf no pueden ser catalogadas en Europa como embarcaciones, y por tanto no les son aplicables las normativas correspondientes. Básicamente no hay ningún reglamento que les sea aplicable, más allá que no resulten dañinos para el medio ambiente u personas, ni en su utilización ni fabricación.

Por tanto, el diseño puede emplear el mercado CE. Éste sello de calidad en cambio, no resulta viable o de utilidad en el producto. El mercado sólo sería apreciable por el instalador del cajetín y nunca por el usuario final, por tanto supondría un sobrecoste de fabricación sin ningún tipo de valor añadido al diseño. En conclusión no es necesario el mercado CE del cajetín, si bien cumple las condiciones para tal efecto.



### 12.7.2 Patente, Modelo de Utilidad y Diseño Industrial

Debido a la naturaleza del producto que no incorpora una novedad suficientemente revolucionaria y al coste asociado a la creación de una patente la protección del diseño mediante un patente resulta inapropiada.

La solución óptima para la protección del diseño resultaría el Modelo Industrial, que es aplicable a *“invenciones que, siendo nuevas e implicando una actividad inventiva, consisten en dar a un objeto una configuración, estructura o constitución del que resulte una ventaja prácticamente apreciable para su uso o fabricación”*, resulta una descripción exacta de la función del producto diseñado.

El Modelo Industrial supondría una protección del diseño de 10 años, y aunque tiene asociado el pago de tasas anuales, resulta más barato y sencillo de llevar a cabo que el de la Patente. Dado el carácter del mercado en el que el producto se encontrará, como es el del surf que vive una segunda edad de oro y de grandes avances técnicos, 10 años supone una protección más que suficiente. Hay que tener en cuenta también que como los gerentes de LokBox decidieron en su día, el mercado de las tablas de surf y los asociados a éstas, no tienden a la copia pues los usuarios suelen requerir producto de primeras marcas de calidad. Sin embargo dado el boom que el deporte está sufriendo, y más con la entrada en el mercado de fabricantes masivos de tablas chinos a precios altamente competitivos, la protección que proporciona un Modelo Industrial es una garantía inestimable para el diseño.

Los requisitos para el registro como Modelo Industrial son los siguientes:

- Novedad. Para que un determinado objeto pueda ser solicitado como modelo industrial se requiere que éste sea nuevo. La

novedad exigida en los modelos industriales es absoluta; es decir, que el objeto del mismo no haya sido divulgado, comercializado y/o registrado en ningún país del mundo.

- Originalidad. Todo modelo industrial debe ser original; es decir, que es fruto de un esfuerzo intelectual del autor y manifiesta una expresión personal de una visión.
- Utilidad Industrial. Para que una determinada creación de forma pueda ser solicitada como modelo industrial es necesario que pueda ser utilizable industrialmente.
- Modelabilidad. Para que una creación pueda ser protegida como modelo industrial, ha de reunir el requisito de modelabilidad; es decir, que la correspondiente creación de forma ha de plasmarse en una obra originaria que pueda servir de tipo para la posterior obtención de múltiples ejemplares de la misma.

Es fácil advertir que el diseño presentado cumple con los cuatro requisitos básicos para el registro de éste como Modelo Industrial, por tanto este sería el mejor modelo de protección.

### 12.7.3 Nombre Comercial

La necesidad de un nombre comercial resulta obvia. Es necesario para que los consumidores y usuarios lo identifiquen con el producto y se diferencie de la competencia.



El Autor es consciente de su limitación y falta de conocimientos para proponer un nombre con “gancho” ya que tal menester sería más apropiado que se llevase a cabo por alguien con estudios de marketing. Dado que el equipo de diseño se reduce a una persona, se ha propuesto HELDU como nombre del sistema.

Heldu significa sujetar en euskera, dotándole de cierta información de su procedencia pero es fácilmente pronunciable y recordable en otros idiomas. Además tiene sólo dos sílabas lo que lo hace fácil de pronunciar.

Empleando el buscador de marcas del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo se ha comprobado que no hay ninguna marca española ni extranjera que opere en España con ese nombre.

Tampoco hay ninguna empresa estadounidense ni que opere en los Estados Unidos de America que tenga ese nombre, por tanto se puede asumir que no hay ninguna marca en la industria del surf que tenga ese nombre.

El nombre del cajetín diseñado será así pues, HELDU. No se ha realizado ningún logotipo pues se considera que eso sería más una actividad que debería llevarse a cabo por un grafista.

## 13 CRÍTICA AL PROCESO DE DISEÑO

Este proceso de diseño se ha llevado a cabo siguiendo las pautas aprendidas en la asignatura Ingeniería de Diseño, optativa de 5º curso de Ingeniería Industrial de la UPNA, impartida por el profesor Pedro Villanueva que el Autor, Josu Bidasoro cursó en el curso 2009-2010.

Además de seguir el método empleado en su día en la asignatura mencionada, el Autor ha empleado herramientas que fueron impartidas pero no utilizadas para conseguir un diseño de mayor calidad. Ejemplos de éstas técnicas son el método Saaty de jerarquización de requerimientos o el DATUM, método empleado para la elección del diseño conceptual óptimo. Esto no ha hecho más que mejorar la calidad del diseño realizado.

A pesar de emplear numerosas técnicas, algunas de ellas muy potentes, a lo largo de todo el proceso de diseño, el Autor se ha encontrado en varias ocasiones estancado o falta de ideas en la evolución del proceso. En esos momentos ha tenido que dejar el proyecto de lado hasta que nuevas ideas surgieran para seguir avanzando. Tal situación habría sido fácilmente evitable si el equipo de diseño, como sucede en realidad, estuviese formado por un grupo de integrantes multidisciplinares. Esto no sólo favorece la continuidad y no interrupción del proceso de diseño sino que además le proporciona una profundidad mucho mayor. A fin de cuentas, un equipo de diseño efectivo desarrollará un producto de mayor calidad que el que pueda desarrollar un diseñador individual.

La cuestión del número de integrantes del equipo de diseño da lugar a la siguiente carencia del proceso: Algunos pasos interesantes y necesarios en el

éxito del producto no se han podido realizar. El más claro ejemplo de ésta situación se encuentra en la comercialización y coste de producción del producto. Como objetivo estratégico se pensaba en colocar el producto diseñado entre los 4 sistemas más populares de fijación de quillas en tablas de surf en los próximos 5 años. Una vez desarrollado el producto, se puede asegurar que éste objetivo depende exclusivamente del marketing y publicidad que se realice. Como se ha podido comprobar, y a falta de ser probado en condiciones reales, las simulaciones han evidenciado que el sistema HELDU es muy superior técnicamente a la competencia. Por tanto, hacer llegar esta sensación a los usuarios es cuestión del departamento de marketing.

Desgraciadamente, el marketing es un campo que se le escapa al Autor y del que tiene sólo unas nociones básicas. Sería muy presuntuoso realizar una campaña de marketing partiendo de esa base, aunque si podría intuirse que tal y como funciona el mundo del surf, el éxito pasaría por invertir en patrocinio de surfistas profesionales de renombre local en un principio y con mayor repercusión global en el futuro. La publicidad lógicamente sería un pilar fundamental. Este sería resumiendo, uno de los factores a analizar en el futuro. Y asociado al coste de marketing estaría un análisis de viabilidad económico que permitiese conocer la capacidad de comercialización de HELDU.

Siguiendo con la singularidad del equipo de diseño que ha realizado este producto, es importante (quizá lo más) remarcar ahora que HELDU se trata de un sistema de fijación de quillas de tablas de surf, pero no dispone de quillas propias. Esto sí que es algo que habría que desarrollar antes de la comercialización de HELDU. El autor intentó desarrollar un juego de 3 quillas sencillo y de formas corrientes, pero resultó inútil por diferentes razones entre las cuales se encuentran la inexperiencia en el campo en cuestión y la falta de probadores (surfistas) fiables que proporcionase su *feedback* respecto a los

diseños propuestos. Sería como que el probador de un avión en desarrollo no supiese pilotar, o que en el desarrollo de una motocicleta de MotoGP el probador no supiese conducir motocicletas. Por mucho que el diseñador opine o proponga, el producto ha de ser probado. Un diseño que no tuviese en cuenta esos aspectos se haría de espaldas al usuario, y por tanto deficiente de calidad.

Para intentar subsanar en la medida de lo posible la carencia de un juego de quillas específico para HELDU, se han realizado 2 adaptadores para que las quillas de los fabricantes FCS y Futures puedan ser empleadas en HELDU. Ambos son los fabricantes con mayor número de quillas en sus catálogos y las dos opciones favoritas de los usuarios, por tanto mejoraría el rendimiento de éstas frente a sus cajetines originales. En cualquier caso no habría que olvidar que esto es una solución provisional, y que un catálogo (cuanto mayor, mejor) de quillas propias de HELDU debería ser desarrollado.

En el proceso de diseño también se han tomado decisiones acertadas, como la del diseño de unas herramientas específicas. El plato de vacío supone una herramienta interesante para el instalador permitiéndole realizar su trabajo con mayor facilidad y eficiencia.

En general a lo largo del proceso de diseño se ha desarrollado un producto de calidad. Realizando los estudios indicados, y con una buena campaña de marketing HELDU supone un buen competidor frente a los actuales fabricantes que componen el mercado de los fabricantes de sistemas de quillas desmontables.

## 14 CONCLUSIÓN

Aquí finaliza la Memoria del PFC de Josu Bidasoro. Llegados a este punto es necesario realizar una evaluación de todo el proceso llevado a cabo para realizar este PFC.

Objetivamente hablando, el desarrollo de este PFC no ha sido fácil. Todo comenzó como se ha indicado al principio de la Memoria con el interés del Autor de unir su pasión por el surf y la Ingeniería. Aplicar lo aprendido en los libros durante todos estos años no ha sido fácil, y menos en un entorno tan cerrado como es el surf.

Habiendo sido desarrollado por el método de prueba y error a lo largo de tantos años existe mucho secretismo en torno al desarrollo de producto relacionado con el surf. En cualquier caso, en el proceso se ha contactado con personas muy dispuestas a compartir sus conocimientos, tanto dentro como fuera del mundo del surf.

Gran parte del proyecto se ha basado en la búsqueda de información, tanto en la web como en libros. A veces esa información estaba directamente relacionada con el tema que se trata en este PFC y otras veces no tanto como al Autor le gustaría. En cualquier caso, se considera que se ha podido desarrollar un PFC completo, que abarca muchos de los campos que el diseño de un producto debe abarcar si bien hay otros campos que deberían de ser estudiados más a fondo.

Además de tener que estudiar información relacionada directamente con el surf, olas y demás, el Autor ha podido también ampliar sus conocimientos en

otros campos de interés para el ingeniero. Algunos de ellos son la utilización del *software* CATIA más en profundidad que lo que lo había usado hasta la fecha. Además se ha formado aunque sea muy superficialmente en el cálculo mediante Elementos Finitos tan necesarios hoy en día para un ingeniero.

En términos generales ha sido un proyecto diferente, que posiblemente se salga de lo habitual en los estudiantes de Ingeniería Industrial de la UPNA, debido al tema que trata, la sujeción de quillas en las tablas de surf, y con el que el Autor ha adquirido unos conocimientos que sin duda le resultarán muy útiles en su carrera profesional.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alcaide, Jorge; Diego, Jose A. y Artacho, Miguel A.: *Diseño de Producto: El Proceso de Diseño*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- [2] Alcaide, Jorge; Diego, Jose A. y Artacho, Miguel A.: *Diseño de Producto: Métodos y Técnicas*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- [3] Arazo J. L.: *Inyección de Termoplásticos*. Plastic Communication S.L. –Grupo Emitec S.A.
- [4] Ayuela, Ignacio. *Conversaciones particulares*. 2010.
- [5] Beaglehole, J.C. *The Voyage of the Resolution and Discovery 1776-1780*. Cambridge University Press, 1967.
- [6] CAD TECH Ibérica S.A., *Manual de Catia v5r9*, 2002
- [7] Carroll, N. *The Next Wave: A Survey of World Surfing*. Queen Anne Press, London, 1991.
- [8] Carswell, David: *Hydrodynamics on Surfboards Fins*. Swansea University, United Kingdom. 2007
- [9] Google Patent. [www.google.com/patents](http://www.google.com/patents)
- [10] Gordon, M. J.: *Total Quality Process Control for Injection Molding*. Hanser Publishers.
- [11] Grissom, Mike: *Mechanics of Surfing*.
- [12] Hendricks, Terry: *Surfboard Hydrodynamics, Part I: Drag*. Surfer Vol.9 No.6. 1969
- [13] Hendricks, Terry: *Surfboard Hydrodynamics, Part II: Pressure*. Surfer Vol.10 No.1. 1969
- [14] Hendricks, Terry: *Surfboard Hydrodynamics, Part III: Separated Flow*. Surfer Vol.10 No.2. 1969
- [15] Hendricks, Terry: *Surfboard Hydrodynamics, Part IV: Speed*. Surfer Vol.10 No.3. 1969

- [16] Holmes Coleman, S. *Eddie Would Go: The Story of Eddie Aikau, Hawaiian Hero*. Mind Raisin Press, 2002.
- [17] Imas, L. *Designing a Better Surfboard*. Advantages: Excellence in Engineering Simulation, 2007.
- [18] Kuznetsov, N.; Maz'Ya, V.; Vainberg, N: *Barber Water Waves: A Mathematical Approach*. Cambridge University Press.
- [19] Lavery, N.; Foster, G.; Carswell, D.; Brown, S.: *Optimization of Surfboard Fin Design for Minimum Drag by Computational Fluid Dynamics*. 4<sup>th</sup> International Surfing Reef Symposium. Junio 2005.
- [20] MatWeb. *www.matweb.com*
- [21] McTavish, B. *A Personal History of Surfboard Design*. Tracks Magazine, 1974.
- [22] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España. Localizador de Marcas. *www.oepm.es/Localizador/homeLocalizador.jsp*
- [23] The Open University. *Waves, Tides and Shallow-Water Processes*. Pergamon Press, 1991.
- [24] O'Keefe, Tom. Gerente de Red-X Fins. Conversaciones particulares. 2009-2010.
- [25] Payne Michael: *Hydrodynamics of Surfboards. Doctoral Thesis*. University of Sidney. 1974
- [26] Sandwell, David: *Physics of Surfing. Energetics of a Surfer*. UCLA 2006
- [27] Sanz, Félix y Lafargue, José: *Diseño Industrial: Desarrollo de Producto*. Thomson.
- [28] Scarfe, B. E.; Elwany, M. H.S.; Mead, S. T.; Black, K. P.: *Science of Surfing Breaks – A Review*. Integrative Oceanography Division. UCSD 2003
- [29] Surfer Magazine. *September 2009 Issue: 2009-2010 Product Catalogue*. Surfer Magazine, 2009
- [30] Swaylock's. *Surfing Design Forum*. *www.swaylocks.com*
- [31] United States Patent & Trademark Office. *www.uspto.gov*



- [33] Wikipedia. *www.wikipedia.org*



# **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

Titulación :

**INGENIERO INDUSTRIAL**

Título del proyecto:

**DISEÑO DE CAJETÍN PARA SUJECCIÓN DE QUILLAS EN  
TABLAS DE SURF**

**ANEXOS 1, 2, 3 y 4**

Josu Bidasoro San Martín

Pedro Maria Villanueva Roldán

Pamplona, 15 de septiembre de 2010

## **ANEXO 1**

### ***INTRODUCCIÓN A LAS TABLAS DE SURF***

# 1. INTRODUCCIÓN A LAS TABLAS DE SURF

## 1.1 Historia de las tablas de surf

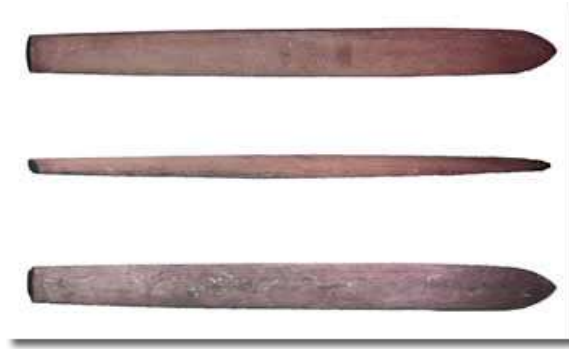
En el comienzo, las tablas de surf eran muy diferentes a como son hoy en día. El primer antecedente de una tabla de surf se considera el *papaholua* hawaiano, una pesada tabla tallada en madera de Secoya o Koa que se utilizaba originalmente para deslizarse sobre rocas y colinas. Los arqueólogos consideran que los primeros nativos hawaianos usaban estas tablas tanto para transportar pesadas cargas como actividad lúdica.

No se sabe con exactitud cuando se dio el paso de utilizar el *papaholua* para deslizarse sobre las olas, ya que aunque los arqueólogos han encontrado grabados en piedra que muestran las primeras escenas de deslizamiento sobre las olas, su antigüedad no está del todo clara.

El surf era una actividad puramente lúdica, no se pretendía batir a un contrincante ni demostrar la valía como forma de superioridad pero si que tenía gran importancia en la sociedad hawaiana y su jerarquía de tal forma que tanto las rompientes como los tipos de tabla que se utilizaban estaban perfectamente clasificados. El compañero del capitán James Cook a bordo del Resolution, Lieutenant James King fue el primer occidental en escribir acerca del surf describiendo la forma en la que los nativos hawaianos se deslizaban sobre las olas.

Las antiguas tablas (figura 1.1) recibían diferentes nombres y tamaños dependiendo del status social del dueño y podían medir desde 5 hasta 25 pies de longitud, llegando a pesar 50kg. Se puede decir que cuanto más grande la

tabla más importante era la posición del dueño en la sociedad. Eran tablas con un cóncavo tallado en la parte inferior que las hacía más rápidas, lo que implica que tenían ciertos conocimientos de hidrodinámica.



*Figura 1.1: Tabla Olo de 15 pies. Fuente: Bishop Museum.*

Tras la llegada de los misioneros a las islas a mediados del siglo XIX, el surf fue prohibido por considerarse una actividad impura y prácticamente desapareció hasta la década de 1930.

Duke Kahanamoku (figura 1.2) nacido el 24 de agosto de 1890 es considerado el padre del surf moderno. Participó en los JJOO de Estocolmo en 1912, ganando la medalla de oro en los 100 metros libres y consiguió 5 medallas olímpicas más en futuros juegos, hecho que le reportó fama mundial. Durante uno de sus viajes a California, y estando surfeando con su gran tabla en Corona del Mar, fue testigo del naufragio de un barco pesquero. Ayudado por su tabla, rescató a 8 pescadores lo que hizo que apareciese en los titulares de todo el mundo como el hombre que podía caminar sobre las aguas. Esta fama lo llevó a realizar exhibiciones de surf en EEUU y Australia dando a conocer el surf fuera de Hawaii.



Figura 1.2: Duke Kahanamoku en 1915. Fuente: Wikipedia.org

Si bien Duke dio a conocer el surf fuera de Hawaii fue Tom Blake (figura 1.3) quien comenzó la modernización de las tablas de surf.

Thomas Edward Blake, nacido en Milwaukee, Wisconsin el 8 de marzo de 1902 fue compañero y discípulo de Duke. Comenzó a fabricar tablas huecas, lo que las hacía más ligeras, pudiendo utilizar tablas más pequeñas y por tanto más manejables. Por la reducción de peso, varias empresas americanas y australianas comenzaron a fabricar sus tablas, lo que ayudó al desarrollo del surf fuera de Hawaii. Pero el verdadero descubrimiento de Blake fue poner una quilla a una tabla de surf. Colocada en la parte de atrás de la tabla, incrementaba enormemente su estabilidad. La disminución del tamaño y peso de las tablas y la incorporación de la quilla permitían a los practicantes realizar giros y movimientos sobre olas que antes eran impensables, cambiando totalmente la forma de deslizarse sobre las olas.



Figura 1.3: Tom Blake en el Duke's Surfing Club de Waikiki.

Después de los avances de Blake llegó la Segunda Guerra Mundial, y con ella la pérdida de interés en el surf y el desarrollo de las tablas.

Tras finalizar la guerra, el desarrollo de las tablas recobró fuerza. La figura clave de ese renacimiento fue Bob Simmons, nacido en Los Angeles en 1919. A pesar de no tener estudios superiores, tenía un gran conocimiento sobre cuestiones técnicas. Tras hacerse con una copia de *“Naval Architecture of Planning Hulls”* del ingeniero naval Lindsey Lord, comenzó a aplicar los conocimientos de hidrodinámica de los navíos a las tablas de surf, consiguiendo tablas extremadamente rápidas para la época fabricándolas con *rocker* (leve curvatura longitudinal de la tabla) y bases no planas.

Además de las innovaciones en cuanto a diseño, comenzó a utilizar Styrofoam para la fabricación de las tablas en lugar de la tradicional madera de balsa, mucho más pesada. Posteriormente cubrió esas tablas de Styrofoam con fibra de vidrio+poliéster que las hacía mucho más resistentes. Este tipo de construcción es todavía hoy la más utilizada.

Simmons también propuso la idea de 2 quillas colocadas en los laterales en vez de la quilla central como propuso Blake. A pesar de que el diseño de Simmons estaba mucho más estudiado técnicamente que el de Blake, fue el de éste último quien se impuso, dando lugar a las tablas que hoy en día se conocen como *Singlefins*. Las innovaciones de Simmons no pudieron seguir sucediendo ya que murió prematuramente mientras hacía surf en Windandsea, California en 1954.



Figura 1.4: Modelo hidrodinámico de Simmons.  
Fuente: [theshaperstree.com](http://theshaperstree.com)



Figura 1.5: Singlefin de la marca Bing, según propuestas de Tom Blake. Fuente: [bingsurf.com](http://bingsurf.com)

Las tablas medían entre 9 y 10 pies de longitud y podían llegar a pesar 15 kg. Estos diseños se mantuvieron prácticamente sin cambios hasta finales de la década de los 60.



Fue entonces cuando sucedió la que en la historia del Surf se conoce como *Shortboard Revolution*, cuyos implicados más ilustres fueron el australiano George Greenough y el californiano Bob McTavish. Utilizando como materiales el foam y la fibra de vidrio + poliéster, redujeron notablemente el tamaño de las tablas haciéndolas más ágiles. Esto permitía realizar giros radicales en las olas y abría un nuevo abanico de maniobras que con las pesadas tablas anteriores no se podían realizar. El tamaño de las tablas bajó de la barrera de los 9 pies de longitud hasta los 5-6 pies. Si bien estas nuevas tablas comenzaron a ser populares en Hawaï no fue hasta 1971 cuando se estrenó la película *The Morning of the Earth* de Albert Falzon -donde aparecía Greenough surfeando estas nuevas tablas en Uluwatu, Bali de forma totalmente innovadora y radical- cuando se hicieron realmente famosas en el mundo entero.

A partir de ahí el diseño se aceleró, dando lugar a múltiples formas de tablas y de configuraciones de quillas. Es muy difícil hacer una síntesis de todos los tipos de tablas de surf que existen, por eso el autor ha hecho una selección en el siguiente apartado de las formas más importantes.

En cuanto a las quillas se refiere, el *Singlefin* se mantuvo, aún en las tablas más pequeñas durante un tiempo. Sobre todo en Hawaï donde la potencia de las olas requería una quilla que proporcionase gran apoyo. En 1977 el australiano Mark Richards comenzó a surfear con los denominados *twin-fins* (tablas de dos quillas con cierta inspiración del modelo de Simmons), y en 1979 fue campeón del mundo de Surf. Validó su título en el 80, 81 y 82, lo que hizo a los *twin-fins* tremendamente populares.



Figura 1.6: Twin-fin fabricado y surfeado por Mark Richards.  
Fuente: [vintagesurfboard.net](http://vintagesurfboard.net)

Mientras Mark Richards popularizaba el *twin-fin*, un joven surfista y *shaper* (fabricante artesanal de tablas de surf) llamado Simon Anderson fusionaba el concepto de *twin-fin* con el *singlefin* para crear el sistema de 3 quillas llamado *Thruster*. En 1981 llevó su *Thruster* a Hawaii, donde demostró que era el diseño ideal; compromiso entre el apoyo de los *singlefins* y la maniobrabilidad de los *twin-fins*.



Figura 1.7: Diseño moderno del Thruster de Simon Anderson con quillas fijas. Fuente: [surfysurfy.net](http://surfysurfy.net)



*Figura 1.8: Tabla corta moderna. Tiene un sistema de quillas desmontable de 3 quillas.  
Fuente: tablassurfshop.com*

Después de la aparición del *Thruster* el diseño se estancó. Absolutamente todo el mundo comenzó a utilizar el *Thruster*, como configuración de quillas, y las formas se estancaron. La única vía de diseño desde los años 80 hasta el 2000 fue la de hacer tablas más ligeras y resistentes.

A partir de finales de los 90, dada la brecha existente entre las necesidades de los surfistas aficionados y los surfistas profesionales, se comenzó a estudiar los antiguos diseños que habían sido olvidados y a refinarlos. Gracias a este redescubrimiento, hoy en día existen infinidad de formas que se ajustan a las necesidades de cualquier usuario.

## 1.2 Partes y morfología de una tabla de surf

Antes de continuar con cuestiones técnicas acerca de las tablas de surf, el autor considera necesaria la aclaración al lector de ciertos conceptos desconocidos para el no iniciado. Se trata sobre todo de vocabulario relacionado con las partes y elementos constituyentes de las tablas de surf.



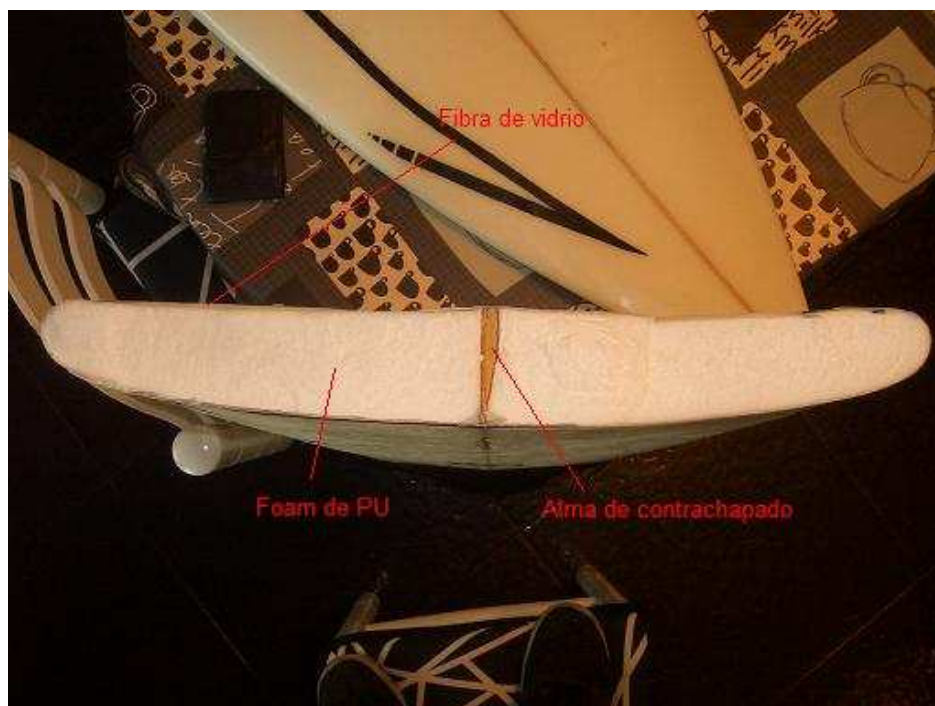
Figura 1.9: Modelo M-13 de Channel Islands. Fuente: [cisurfboards.com](http://cisurfboards.com)

- o Nose: Extremo delantero de la tabla. En otras embarcaciones sería la Proa.
- o Tail: Extremo trasero de la tabla. En otras embarcaciones: Popa.

- o Cantos o Rails: Laterales de la tabla. Tienen un efecto fundamental en el funcionamiento de la tabla. Suelen ser suaves en el Nose y afilados en el tail para facilitar el giro y maximizar el agarre.
- o Deck: Parte superior de la tabla. Allí donde el surfista coloca sus pies.
- o Bottom: Parte inferior de la tabla. Nunca es plano para mejorar el deslizamiento sobre la ola, disminuyendo el rozamiento y maximizando la velocidad en todo momento.
- o Rocker: Curvatura longitudinal de la tabla. Ayuda a aumentar la velocidad y a que el Nose no se “clave” en la ola produciendo la caída del surfista.
- o Quillas desmontables: Aunque en la fotografía las quillas no aparecen, están las ranuras para insertarlas. Esta tabla está fabricada para montar quillas de la marca FCS.
- o Medidas: Las tablas se miden en pies y pulgadas, y se dan tres medidas de la siguiente forma: longitud máxima X anchura máxima X grosor máximo. Un ejemplo: 7'2" x 21" x 2 3/4".

La mayoría de tablas del mercado se fabrican utilizando un foam de PU con alma de madera y recubriéndolas con fibra de vidrio y poliéster, tal y como propuso Bob Simmons. En la figura 1.10 se aprecia tal construcción. El proceso de construcción es semiartesanal en los talleres más avanzados y totalmente artesanal en los más pequeños. Se parte de un trozo de foam y se *shapea* (talla) a mano –en los talleres más grandes tienen máquinas de control numérico que dan una preforma al foam, pero siempre tiene que ser retocado a mano- la tabla con las medidas y formas que el cliente desee. La persona que *shapea* la tabla se

denomina *shaper*. Una vez hecho eso se recubre con una capa de fibra de vidrio impregnada en poliéster en el bottom y dos capas en el deck. Se deja secar y se coloca el sistema de quillas que el cliente desee. Se lija toda la tabla con lija al agua para minimizar la rugosidad y se deja curar la resina 4 semanas en un lugar seco, aireado, con temperatura templada y sin luz. Tanto la colocación de la fibra como el lijado se lleva a cabo por el *glasser*. Todo el proceso es artesanal y totalmente custom en este tipo de construcción. Una tabla normal puede costar entre 350 y 600€, pero las hay más caras dependiendo del *shaper* (artesano que la fabrica) o de los materiales/acabados. A pesar del elevado precio, este sistema ofrece la posibilidad de tener una tabla especialmente diseñada y fabricada para ti, algo imposible en otros deportes.



*Figura 1.10: Materiales constitutivos de una tabla de surf de PU partida en pleno uso. En la parte inferior de la imagen está el Deck y en la superior el Bottom. Se puede apreciar que la tabla es ligeramente cóncava en el Bottom. Fuente: Fotografía propia.*

Pero además de la construcción tradicional existen otro tipo de tablas modernas:

- o Epoxi: Utilizan un foam de PU y fibra de vidrio, pero sustituyen la matriz de poliéster por resina epoxi que es más resistente y menos contaminante.
- o Tuflite: Principalmente fabricadas por la empresa Surftech, se realizan con moldes de inyección de resina. El núcleo es un foam EPS y está recubierto por diferentes fibras resinas y materiales. Son mucho más resistentes que las tablas convencionales pero no se pueden hacer modelos a medida, hay que elegir un modelo del catálogo. Flotan más pues su densidad es menor, y la flexión longitudinal es diferente a las tablas tradicionales, lo que no las hace muy populares entre los surfistas expertos. Además son más caras, costando entre 600 y 900 euros.

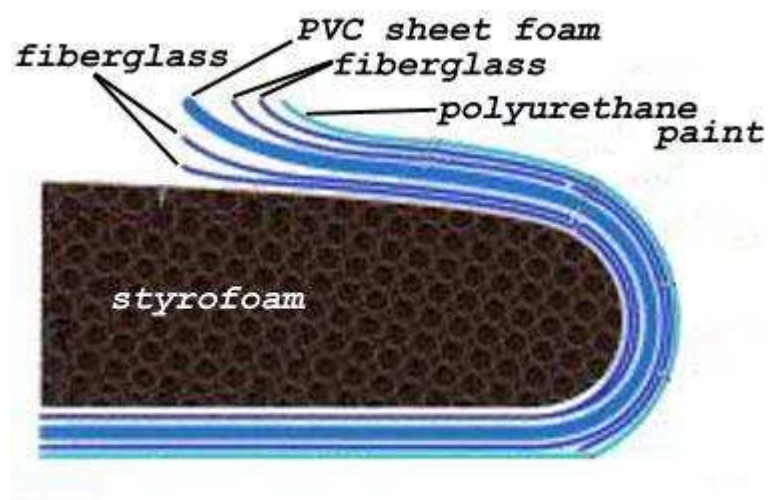


Figura 1.11: Construcción Tuflite. Fuente: surftech.com



- o Huecas: A menudo de carbono, son huecas y muy ligeras pero presentan algunos problemas de fisuras por sobrepresiones en su interior. Su construcción es bastante compleja pues debe hacerse de forma artesanal. También existen modelos huecos de madera, más orientados a caprichos pues su elevado peso las hace menos maniobrables. Su precio es muy elevado, costando más de 1000€.



Figura 1.12: Tabla hueca Salomon con tecnología S-core. Fuente: coolhunting.com



### 1.3 Tipos de tablas de Surf

Existen infinidad de modelos de tablas de surf. Es imposible nombrar todas aquí, pero se ha realizado una selección de los tipos más importantes.



Figura 1.12: Shortboard de la marca Rusty. Fuente: [transsurf.co.uk](http://transsurf.co.uk)

Shortboard: El tipo de tabla más utilizado en la actualidad. Funciona bien en todo tipo de condiciones, es ligera, ágil y relativamente fácil de usar. Se dice que es una todoterreno. Casi siempre se usa con 3 quillas (*Thruster*) aunque últimamente se ven con 4 quillas (*Quad*). Su longitud varía entre 5'10" y 7'.



Figura 1.13: Gun. Fuente: [surfysurfy.net](http://surfysurfy.net)

Gun: Es parecida a las *shortboards* pero de tamaño mayor y formas más agresivas. Su longitud suele variar desde 6'6" hasta 10'. Es utilizada exclusivamente para olas grandes o con mucho tubo que requieren mucho agarre. Es muy difícil de manejar por su tamaño y formas. Se usa con 3 quillas.



Figura 1.14: Longboard clásico. Fuente: surf4all.com

Longboard: Tabla grande y larga. Similar a las usadas en los años 60. Se usa sobre todo en olas pequeñas y lentas. Suele usarse para un surf más tranquilo que las anteriores tablas. Su longitud es siempre superior a los 9' y casi siempre con una sola quilla.



Figura 1.15: Fish de Steve Lis. Fuente: surfshot.com

Fish: Debe su nombre a su característico tail que recuerda a la aleta de un pez. Era un tipo de tabla olvidada, que volvió a popularizarse en el 2000. Su longitud es inferior a 6'6" y se usa para olas pequeñas y cuando se quiere más maniobrabilidad que con un longboard. Es un tipo de tabla fácil de surfear. Suele ser de 2 o 4 quillas.

## 1.4 Desarrollo de las quillas y de los sistemas de quillas

Cuando por primera vez Tom Blake utilizó una quilla en una tabla de surf para aumentar su estabilidad el diseño que utilizó era muy rudimentario. Se trataba básicamente de un trozo de madera encajado a presión en una ranura tallada en la propia tabla. Este diseño primitivo ha ido evolucionando a lo largo del tiempo hasta la actualidad, donde se utilizan conocimientos de aerodinámica y herramientas informáticas de tecnología punta para diseñar unas quillas y sistemas de sujeción eficientes.

Este capítulo pretende conducir al lector a través de la historia del surf para mostrar cómo tuvo lugar el desarrollo de las quillas.

Después del éxito del invento de Blake, rápidamente se popularizó el uso de quillas en las tablas de surf. Debido al gran tamaño de las tablas de los 40-50 las quillas eran grandes, y se colocaban en el final de la tabla. Se fabricaban en madera, a poder ser madera de balsa por su ligereza y después se laminaban con fibra de vidrio y poliéster para otorgarles mayor resistencia mecánica y a la humedad. Tenían forma de D como se puede apreciar en la figura 1.9.



*Figura 1.16: Quilla clásica fabricada en la actualidad. Fuente: Swaylocks.com*

Con la disminución del tamaño de las tablas en la *Shortboard Revolution* de finales de los años 60 las quillas de madera se dejaron de usar. Resultaban demasiado grandes y pesadas para las ágiles nuevas tablas. Algunos años antes, George Greenough, buscando una quilla para sus nuevas tablas de surf que le permitiese mayor movilidad sobre éstas, decidió inspirarse en la cola de los atunes para su novedoso diseño.

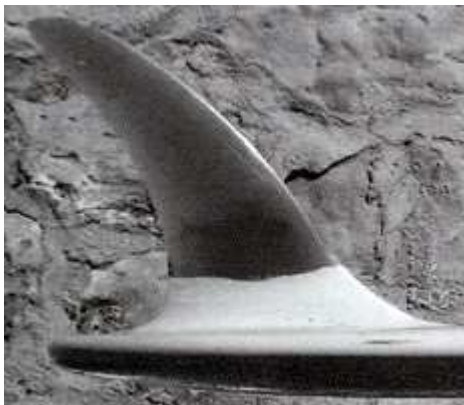


Figura 1.17: Primera quilla tipo atún. 1960.  
Fuente: surfresearch.com

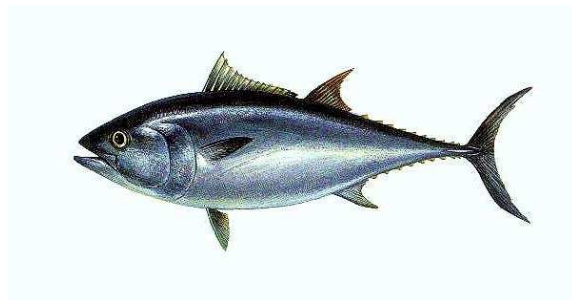


Figura 1.18: Atún azul. Se puede ver la semejanza entre el diseño de Greenough y la aleta del atún

El nuevo diseño de Greenough estaba totalmente construido en fibra de vidrio lo que lo hacía mucho más fino, y por tanto con menor rozamiento que las anteriores. Pero no quedó satisfecho con su primer intento pues se dio cuenta que ese tipo de quilla tenía que ser flexible para que funcionase bien y no frenase la tabla demasiado en los giros. Empezó a trabajar con planchas de fibra de vidrio que modelaba, probaba y volvía a modelar. Se convirtió en un proceso de ensayo y error. En dicho proceso, constató que para que la quilla fuese efectiva, ésta tenía que flexionar de forma constante y uniforme. Comenzó entonces a realizar gráficos de la flexión de la quilla con diferentes cargas para intentar evaluar cómo afectaba al comportamiento de la tabla de surf.

Concluyó que no existía un patrón de flexión ideal para toda tabla y surfista. Estableció que cada tabla, dependiendo de sus dimensiones y forma, requeriría una quilla con una flexibilidad concreta y que además esa flexibilidad dependía también del surfista y su estilo. En resumidas cuentas, no existía un diseño óptimo único.

No mucha gente siguió los estudios de Greenough pues resultaban en algunos aspectos sumamente complejos, pero si captaron la idea de que una tabla cambiaba su comportamiento de forma importante con una quilla u otra. Hasta entonces, las quillas estaban glaseadas (pegadas) a la tabla mediante fibra de vidrio y poliéster. Eso hacía que la quilla siempre fuese la misma y en caso de rotura había que llevarla al taller a repararla.

La empresa australiana Simplex, lanzó entonces un nuevo producto. Se trataba de una especie de guía o cajón que se instalaba en la tabla de surf en su fabricación y sobre esa guía se montaban posteriormente las quillas. Permitía utilizar diferentes modelos y en caso de rotura era muy fácil sustituir la quilla dañada.



*Figura 1.19: Cajón y quilla Simplex en el año 1970. Cajón en blanco con la quilla instalada. La fibra está amarilleada. Fuente: [surfresearch.com.au](http://surfresearch.com.au)*



Este primer sistema no utilizaba tornillos de fijación y fue mejorado posteriormente añadiendo un pequeño tornillo. Tuvo gran éxito y se adoptó como universal. Hoy en día las tablas de una quilla (*Singlefins*) que utilizan sistemas desmontables usan este sistema.

Tras la aparición de este sistema intercambiable, las tablas de dos quillas se popularizaron mucho gracias al tetra-campeón del mundo Mark Richards y a Steve Lis con su modelo de tabla *fish*. Las quillas eran considerablemente más pequeñas y su flexibilidad no se tenía tanto en cuenta. Se colocaban a los lados de la tabla a aproximadamente 1 pie del *tail*, y con cierto ángulo para que la tabla fuese estable [9, 10]. El ángulo que forman las quillas con la línea longitudinal de la tabla depende del tipo de tabla, de los gustos del surfista y de las condiciones en las que va a ser utilizada la tabla.



Figura 1.20: *Fish* de Steve Lis. Debe su nombre al *tail*, pues se parece al de un pez.  
Fuente: [surfshot.com](http://surfshot.com)



Figura 1.21: Propuesta de Mark Richards. Quillas desmontable más pequeñas, rápidas y manejables que las de Lis. Fuente: [surfresearch.com.au](http://surfresearch.com.au)

Dada la popularidad de los *twin-fins* y visto el éxito del sistema anterior de quillas desmontables, empezaron a comercializarse infinidad de sistemas. Ninguno tuvo tanto éxito como para destacar sobre los demás y establecerse como universal, quizá debido a que muchos más sistemas fueron

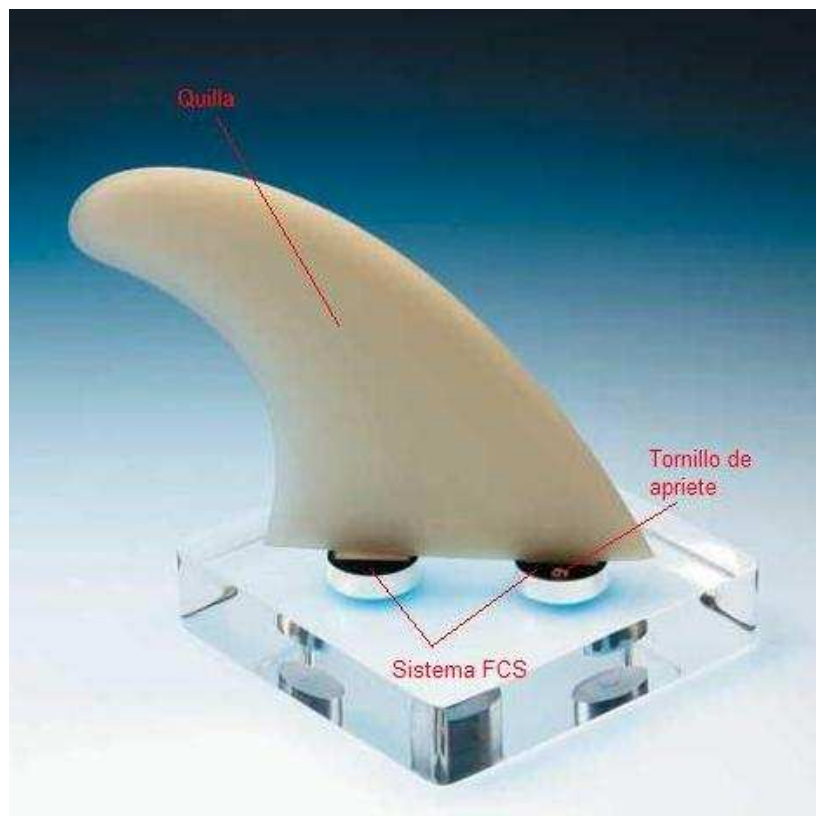
comercializados. Antes de que ningún sistema pudiese erigirse sobre los demás, se estableció el estándar de 3 quillas o *thruster* de Simon Anderson.

Dado el fracaso de los sistemas desmontables de 2 quillas, ninguno de los importantes fabricantes decidió en un principio lanzar un producto similar para el *thruster*. Las quillas se glaseaban a la tabla como se hacía al principio.

Las tablas de 3 quillas fijas dominaron absolutamente el mercado de las tablas de surf hasta principios de los 90. Sólo algunos grupos de surfistas “underground” se mantuvieron fuera de esta moda desarrollando otro tipo de tablas e “inventos” que más tarde volverían a popularizarse.

En los 90 el mercado pedía un sistema de quillas desmontable. Después del boom del surf en los 60 (sobre todo en California y Australia), en los 90 se había expandido a todo el mundo. Además era la época de los productos de máxima tecnología y el surf no escapaba a esa tendencia. Los surfistas, conscientes de que con un sistema de quillas desmontables podían usar una sola tabla en multitud de condiciones simplemente cambiando las quillas pedían a la industria una solución.

La empresa Australiana FCS (Fin Control System) fue la primera en lanzar al mercado su producto. Se trataba de un sistema barato y que era bastante sencillo de instalar en las tablas durante su fabricación. Contrataron a un gran equipo de surfistas profesionales para promocionar su producto, y desarrollaron un amplio catálogo de quillas. De este modo se hicieron con el mercado. Hoy sigue siendo el líder indiscutible del mercado a pesar de ser el sistema con más carencias técnicas.



*Figura 1.22: Fotografía sobre base de metacrilato del sistema FCS. Se aprecian los tapones en negro que se introducirían en la tabla. La quilla tiene unos salientes que encajan en los tapones. La quilla se sujeta mediante el apriete de un tornillo. Fuente: surffcs.com*

Visto el éxito de FCS otras empresas lanzaron similares productos, en general técnicamente superiores, pero ninguno llegó a triunfar como el primero. Hoy en día existen diferentes sistemas en el mercado cada uno con sus pros y sus contras que se analizarán en capítulos sucesivos de esta memoria.

### **1.3.1 ¿Qué es una quilla? ¿ Qué forma tiene?**

Al igual que las tablas de surf, existen infinidad de modelos de quillas cada uno con sus características propias. Este proyecto se centrará en los sistemas de tres quillas denominados también *Thruster*, pues es el sistema más popular pero el sistema es aplicable a sistemas de 4 quillas o *Quads*.



La quillas son elementos hidrodinámicos que se colocan en el *tail* de la tabla para que den estabilidad al surfista tanto en el deslizamiento rectilíneo como en los giros. Se puede realizar una analogía bastante intuitiva entre las quillas y las orzas de los barcos. En los barcos sobre todo veleros, la orza es el elemento unido al casco que evita que el barco vuelque debido a la fuerza lateral producida por el viento que soporta.

Las tablas de surf al deslizarse sobre superficies curvas (las olas tienen forma rizada) necesitan un apoyo que evite que derrape sobre la superficie de la ola. Esto se consigue por la acción de los cantos de la tabla y por las quillas.

La forma que tienen está sobre todo basada en el ensayo y error pues hasta hace poco el surf no representaba un mercado lo suficientemente importante como para que las grandes empresas con recursos suficientes para realizar investigaciones rigurosas se centraran en el.



*Figura 1.23: Forma típica de quilla moderna. Fuente: LokBox.*

Tienen poco grosor pues interesa que el frenado que produzcan sea el mínimo posible. Por la misma razón son curvadas hacia atrás y la sección va disminuyendo desde la base a la punta. Como se ha dicho anteriormente, las

primeras formas fueron tomadas de la naturaleza concretamente de las aletas de algunos peces y sus formas fueron evolucionando hasta llegar al diseño actual.

En un principio las quillas laterales eran planas por su parte interior mientras que las centrales eran simétricas respecto a su plano longitudinal. A finales de los 90, inspirándose en la poca resistencia al avance de perfiles aerodinámicos de las alas de avión las quillas laterales dejaron de ser planas en uno de sus lados para comenzar a tomar forma de perfil NACA.

Hoy en día se siguen empleando ambos sistemas pues muchos usuarios prefieren las quillas laterales semi-planas por las sensaciones que aportan.

Las quillas modernas se fabrican con infinidad de materiales y métodos. A continuación se muestran los más importantes:

- o Inyección por moldeo: Existen diferentes tipos de polímeros utilizados para esta técnica. Suelen ser las quillas más básicas y por tanto las más baratas.



Figura 1.24: Quilla fabricada por inyección. Fuente: binbin.net

- o Fibra + poliéster: Son las de fabricación tradicional. Se fabrican apilando capas de fibra de vidrio e impregnándolas con poliéster para endurecerlas. Luego se les da la forma deseada. Suelen ser considerablemente más caras que las de inyección pero su comportamiento es mejor. Son las empleadas por los iniciados y profesionales.



Figura 1.25: Quilla de fibra. Fuente: kenuhawaii.com

- o Carbono + epoxi: El proceso de fabricación es el mismo que las de fibra de vidrio pero empleando carbono y epoxi. Resultan muy rígidas y no a todo el mundo le gustan pues hace que la tabla sea muy “dura”, es decir, que le cuesta mucho girar. Se usa en tablas de olas grandes donde las velocidades son muy elevadas. Su precio es considerablemente más alto que las de fibra de vidrio.



- o Honeycomb: Existe otro tipo de quilla de composites bastante novedosa. Se usa un núcleo de celda de abeja y se recubre con fibra de vidrio y poliéster. De esta forma se consigue una quilla de muy bajo peso cuya densidad es inferior a la del agua y por tanto flota (útil si se suelta una quilla), y que a su vez es muy rígida de forma transversal. El precio es similar a las de fibra de vidrio.



*Figura 1.27: Quilla honeycomb de Futures. Fuente: amazon.com*

- o Huecas: En los dos últimos años están apareciendo en los catálogos de algunos fabricantes quillas huecas. Se realizan mediante fibra de vidrio o carbono y aseguran que son tan rígidas como las quillas tradicionales pero con mucho menor peso.

## **ANEXO 2**

### ***MORFOLOGÍA DE LAS OLAS Y MANIOBRAS***

## 2 MORFOLOGÍA DE LAS OLAS Y MANIOBRAS

Para realizar un estudio del comportamiento de las quillas en una tabla de surf es necesario conocer las condiciones en las que la quilla se va a encontrar. Para ello es necesario conocer las maniobras que sobre una ola un surfista puede realizar. El autor da por hecho que el lector pueda no estar familiarizado con el surf y por eso la necesidad de este capítulo.

El propósito común de todo tipo de deslizamiento sobre una ola reside en situarse tan cerca como se pueda de la rompiente sin que esta alcance al surfista. Teniendo en cuenta que una tabla de surf es un vehículo que no tiene ningún tipo de propulsión, obtendrá la energía necesaria para moverse directamente de la ola y de la habilidad del surfista que se encuentre sobre ella.

No todas las olas resultarán adecuadas para ser surfeadas. Dado que el interés del surfista es permanecer el máximo tiempo posible sobre la ola, aquellas olas que empiecen a romper por un lado y progresivamente vayan rompiendo hacia el otro serán las más adecuadas. Una ola adecuada para ser surfeada se puede apreciar en la imagen 2.1. En ella aparece la zona denominada *brazo* donde el surfista realizará sus maniobras; el mejor lugar para surfear, al lado de la rompiente donde la ola proporcionará al surfista mayor velocidad se denomina con la palabra anglosajona *pocket*. También habría que señalar *el labio* o *cresta* (dependerá del tipo de ola que se le de un nombre u otro). Se denominará *cresta* cuando la ola rompa suavemente, de forma que la espuma no se despegue en ningún momento del brazo. Cuando la ola es suficientemente rápida, la velocidad que lleva hace que al romper, parte de la ola se desprenda formando el *labio* y si el tamaño de la ola y su velocidad son suficientemente grandes, este labio genere junto con la pared el famoso *tubo*.



*Imagen 2.1: Zonas de la ola. Fotografía de Mundaka. Fuente: ASP.*

Dependiendo de la dirección que adquiera la rompiente, la ola se denominará *de derechas* o *de izquierdas*. Olas de izquierdas y derechas se pueden apreciar en las imágenes 2.2 y 2.3 respectivamente.



*Imagen 2.2. Ola de izquierdas. Fuente: Surfline.*



*Imagen 2.3. Ola de derechas. Fuente: Surfline.*



La forma en la que el surfista coloca sus pies sobre la tabla de surf, uno delante y otro atrás resulta determinante. No hay una regla que determine que pie hay que poner adelante, pero aquellos que ponen el derecho adelante se les denomina *goofy*, mientras que a los que colocan el izquierdo delante se les denomina *regular*. Esto es importante pues dependiendo de si el surfista es *regular* o *goofy*, surfeará las olas de *espaldas* (o *backside*) o *de frente* (*frontside*). De esta forma los surfistas *goofys* surfean las olas de izquierdas de cara y las derechas de espaldas, mientras que los *regular* surfean olas de derechas de cara y olas de izquierdas de espaldas.

Mientras la ola va rompiendo de un lado a otro, el surfista puede moverse relativamente libre en el *brazo*. Existe un gran abanico de maniobras que puede realizar en la ola, pero prácticamente todas buscarán la proximidad a la rompiente para conseguir la mayor velocidad posible.

En las figuras 2.4-2.9, se muestran algunas de las maniobras más habituales que un surfista puede realizar.



Imagen 2.4. El tubo, probablemente la maniobra más conocida y deseada en el surf. Consiste en surfear la ola en el tubo que forma el labio con el brazo de la ola. Fuente: ASP.





*Figura 2.5: Bottom turn de backside. Es una maniobra fundamental para aprovechar la energía de la ola. Fuente: ASP.*



*Figura 2.6: Cutback. Se realiza cuando el surfista va demasiado rápido, o el brazo de la ola se ralentiza. Busca volver al pocket, zona de máxima energía. Fuente: Wavewatch.com*



*Figura 2.7: Floater. Subirse al labio de la ola cuando este va a romper. Se hace para evitar que el brazo rompa delante y no se pueda surfear más la ola. Fuente: UKPST.*



*Figura 2.8: Snap. Se parece al Cutback pero con un radio más corto, haciendo derrapar la parte trasera. Se hace para frenarse ligeramente en la ola. Fuente: ASPEUROPE*



*Figura 2.9: Aéreo. Consiste en saltar por encima de la ola y hacer una pirueta. Es muy compleja, y se realiza cuando se tiene muchísima velocidad. Fuente: Surfervillage.com*

Si hablamos de la exigencia a las que se somete a las quillas en cada una de las maniobras, probablemente el tubo, cutback y el bottom turn serán las más exigentes al menos en cuanto a esfuerzos se refiere. Por el contrario, el aterrizaje de los floaters y aéreos serán las maniobras más exigentes en cuanto a impacto, pues las quillas entrarán de golpe en el agua soportando la energía proveniente del surfista.

## **ANEXO 3**

### ***HIDRODINÁMICA Y CINÉTICA DEL SURF***

### 3 HIDRODINÁMICA Y CINÉTICA DEL SURF

A pesar de la popularidad de la que disfruta el surf especialmente en ciertos lugares, resulta sorprendente o al menos lo es para el autor, la poca cantidad de investigación numérica y experimental que se ha realizado en torno a la física del surf.

La documentación que se ha utilizado para este proyecto data la de década de los años 60 y 70, cuando se realizaron más investigaciones que dieron lugar a publicaciones técnicas sobre la dinámica del surf. A partir de entonces la investigación numérica desapareció, dando paso a las pruebas físicas, experimentales, con olas, tablas y surfistas reales.

Es posible que la razón de este giro a lo experimental, resulte de la incapacidad por parte de los técnicos de determinar las cualidades perfectas de una tabla de surf que son quizá demasiado subjetivas. Pero sobre todo es posible que tal giro se produjese por la variabilidad de las condiciones en las que una tabla de surf puede ser utilizada, lo que hace imposible conseguir un diseño único y eficiente en todo tipo de condiciones y para todo tipo de usuarios.

Hay que especificar también que este informe no quiere realizar un estudio profundo de la dinámica de las olas, sino más bien algo superficial, ya que el fin último no es comprender cómo las olas se comportan sino cómo lo hace una tabla de surf sobre ellas. Para ello se estudiarán características como velocidad de la ola, y cómo está afecta a la velocidad de la tabla de surf.

### 3.1 Hidrodinámica del surf

Una tabla de surf y por consiguiente el surfista se encuentran sustentados por fuerzas con dos orígenes diferentes. Por un lado por flotabilidad, que resulta del desplazamiento del fluido (agua), y por fuerzas dinámicas generadas gracias a la forma de la tabla de surf y su planeo en la superficie del mar. La componente de la fuerza sustentadora generada por la flotabilidad,  $L_B$ , es proporcional al volumen de agua desplazada.  $L_B$  aproximarse mediante la siguiente expresión:

$$L_B = 0,5 \rho g \beta l_w^2 b$$

donde  $l_w$  es la longitud mojada,  $\beta$ , es el ángulo de incidencia y el ancho de la tabla es  $b$ . El ángulo de incidencia es el ángulo que forma la tabla de surf con la superficie del mar. El centro de presiones tiene que estar localizado a una distancia del canto mojado de la tabla  $l_p$  según la ecuación

$$l_p = \frac{M}{\Delta \cos \beta + D \sin \beta}$$

donde  $M$  es el momento en el canto mojado,  $\Delta$  es la carga vertical y  $D$  es la componente horizontal de arrastre.

El número de Froude,  $Fr$ , utilizado habitualmente como exponente de la resistencia de un objeto sobre el agua y que es proporcional a las fuerzas inerciales y gravitacionales que actúan sobre una embarcación en su navegación está dado por la expresión  $Fr = v/\sqrt{gb}$  [19]. Para números de Froude bajos, la sustentación debida a la flotabilidad es baja. Investigaciones experimentales realizadas por la National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) han

demostrado que para naves planeadoras con *chine angles* pequeños (*chine angle* es el ángulo que forma la base con los laterales), el ángulo de ataque que más fuerza de sustentación produce está entre 2 y 4 grados.

La parte baja (*bottom*) de una tabla nunca es plana. Existen variedad de formas, desde cóncavos simples, dobles, V's, canales o infinidad de combinaciones de estos que se asemejan a los cascos de embarcaciones de altas velocidades. La razón de que esto sea así es para conseguir que la tabla sea lo más rápida posible sobre la ola, que se frene el lo mínimo posible. Investigaciones de la NACA determinaron que cuando el chine angle aumenta, el arrastre (frenado) disminuye. El autor Hendricks afirma que la sustentación es inversamente proporcional al chine angle. Este fenómeno ocurre si empleamos a modo de ejemplo un *bottom* en forma de V. La forma en V produce un flujo lateral que va de la zona de alta presión (centro), hacia las zonas de baja presión (los cantos). De forma inversa, una V invertida o un cóncavo, promueve la sustentación impidiendo este flujo lateral.

Los *cantos* como se denomina a los lados de la tabla de surf comúnmente, también tienen gran importancia en la disminución del arrastre total. Los cantos cuadrados implican mayor frenado que aquellos redondeados, pero a su vez los cantos redondeados disminuyen la sustentación.

Para una chapa que planea sobre agua con un bajo ángulo de ataque, aparece un gradiente de presiones positivo donde el punto de estancamiento está colocado, cerca del canto delantero del área mojada. Esto provoca una fina capa límite que provocará cierto efecto de frenado. Investigaciones previas con modelos de tablas de surf a escala en olas creadas en laboratorio, han determinado que tablas de surf con *bottoms* con forma de cóncavo o V son más



estables que los que tienen forma plana y además, aquellos con forma cóncava ofrecen mayor sustentación. Esto confirma lo que se ha supuesto anteriormente.

La fuerza de arrastre que soporta un cuerpo, determina cuanta resistencia soporta cuando avanza por un fluido o cuanta resistencia soporta el fluido cuando un cuerpo se introduce en el flujo del fluido. En el caso de las tablas de surf, este arrastre supone que la tabla se frena, es decir, que se pierde velocidad. Este frenado puede llegar a ser tal, que la velocidad del surfista podría llegar a ser inferior a la de la ola, lo que implicaría que esta sería insurfeable. Por tanto, el objetivo de un buen diseño independientemente de las condiciones en las se utilizará, será disminuir el arrastre generado.

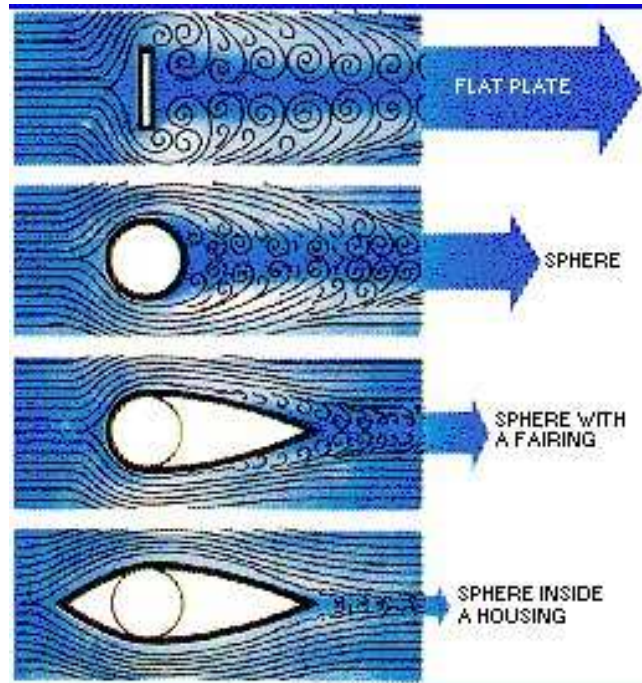
Para cuerpos totalmente sumergidos, como submarinos o torpedos, la fuerza de arrastre está principalmente compuesta por arrastre viscoso y una pequeña aportación de arrastre de presión, aunque esto depende en gran medida de la forma y del ángulo de ataque. Para objetos que planean que se mueven por la superficie del mar, existen además otros dos tipos de arrastre que tienen que ser considerados: Arrastre de spray y arrastre de ola. Por tanto es importante determinar las fuerzas de frenado que va a experimentar la tabla de surf y las quillas. Mientras que la tabla de surf experimentará los 4 tipos de frenado indicados anteriormente, las quillas la mayoría del tiempo experimentarán únicamente arrastre viscoso y arrastre por presión, pues la se encontrarán totalmente sumergidas.

### **3.1.1 Frenado por presión**

El arrastre (o frenado) por presión de un objeto depende de la geometría del objeto en cuestión. Una placa cuadrada frente a un flujo experimenta más arrastre por presión que un perfil aerodinámico porque el fluido no puede fluir,



valga la redundancia, fácilmente alrededor de la placa. Está relacionado con las turbulencias que la presencia de un objeto causa en el flujo del fluido.



*Imagen 3.1: Se puede observar como para perfiles más aerodinámicos, el arrastre por presión es menor. Fuente: Wikipedia.org*

### 3.1.2 Frenado por ola

Los objetos que se desplazan a través de la superficie libre de un fluido, como es el caso de las tablas de surf, experimentan un tipo de frenado conocido como arrastre por ola. La presión alrededor de los cantos de la tabla en contacto con el agua provocan que el agua que está en frente del canto se “levante” por la sobre-presión inducida por el punto de estancamiento. Esto provoca que la superficie del fluido se mueva como si hubiese diminutas olas. Claro ejemplo de este fenómeno son las estelas que los barcos dejan a su paso. Lo que sucede si lo miramos desde el punto de vista de frenado es que la tabla transfiere

energía a las partículas de fluido con las que entra en contacto provocando una resistencia al avance.



*Imagen 3.2 : Se puede apreciar la ola que genera el gasero en la proa. La formación de esa ola implica un frenado a la nave.*

### **3.1.3 Frenado viscoso**

Cuando un fluido se mueve de forma perpendicular a una superficie este induce una fuerza en la superficie debido a la resistencia que opone el fluido a moverse sobre esa superficie. Para pequeños ángulos de ataque, el arrastre viscoso supone la mayor parte de la resistencia al avance.

### **3.1.4 Frenado de spray**

El arrastre por spray está relacionado con el arrastre de ola. Cuando el objeto que planea sobre la superficie del líquido transfiere a este suficiente energía, pasa de formar olas a despegar agua de la superficie en forma de spray. Este aporte extra de energía por parte del objeto a la superficie del agua,

produce una fuerza de frenado. El fenómeno de arrastre por spray se produce en el borde de la zona mojada, y en la figura 3.3 se puede apreciar claramente el efecto en una tabla de surf.



*Imagen 3.3 : El spray se puede apreciar en la estela que deja el surfista al realizar un bottom-turn. Si se fija lo suficiente, se puede apreciar que tanto la tabla como la quilla (azul) generan spray. Fuente: Alaplaya.com*

### 3.2 Cinética del surf

Las olas son generadas por el viento. Cuando el viento sopla sobre la superficie del mar, forma pequeños rizos sobre la superficie. Cuanta mayor sea la velocidad del viento mayor serán esos rizos. Cuando la velocidad es suficientemente grande, se forman olas. Estas olas que tienen una forma y aspecto caótico es conocido por los conocedores del mar como “mar de viento”. En su viaje por el mar estas olas de viento que al fin y al cabo son ondas, tienden a juntarse formando olas más grandes y ordenadas. Estas olas son conocidas como “mar de fondo”.

Hay que diferenciar dos tipos generales de olas, pues las leyes por las que se rigen son diferentes. Existen olas de aguas profundas y olas de aguas superficiales. Se clasifican como olas de aguas profundas aquellas cuya distancia desde la superficie del agua al fondo del mar es mayor que su longitud de onda. Y olas superficiales aquellas cuya longitud de onda es mayor que la profundidad.

La velocidad de una ola de agua profunda,  $v_{ola}$ , es proporcional a su longitud de onda,  $\lambda$ , la distancia vertical que una partícula se mueve  $A$ , y la distancia horizontal que la misma partícula se mueve,  $B$ , según la expresión

$$v_{ola} = \sqrt{\frac{A}{B} \frac{g\lambda}{2\pi}}$$

En las olas de aguas superficiales, cuya longitud de onda es superior a la profundidad,  $d$ , la relación  $A/B$  es más pequeña y se puede expresar mediante  $2\pi d/\lambda$ . Si sustituimos esto en la ecuación anterior, obtenemos:

$$v_{ola} = \sqrt{gd}$$

Según la ola vaya acercándose a la orilla, la cresta de la ola empezará a moverse más rápido que la base, esto ocasionará que la ola rompa. La profundidad a la que una ola romperá depende directamente de la altura de la ola,  $h_{ola}$ , según

$$d = 1,28h_{ola}$$

Estas ecuaciones están pensadas para distancias expresadas en millas y velocidades en mph. Dado que nosotros trabajamos en el SI, las ecuaciones sufrirían ciertos cambios, resultando

$$v_{ola} = \sqrt{62,83 h_{ola}}$$

para  $h$  expresada en metros y  $v_{ola}$  en m/s.

### 3.2.1 Ecuación de Hendrick's

En 1969, el Doctor en Físicas y surfista Terry Hendricks escribió unos artículos en la revista de surf *Surfer Magazine*. Estos artículos eran resúmenes y simplificaciones de su tesis doctoral y suponen los primeros y prácticamente únicos documentos existentes específicamente centrados en la dinámica de las tablas de surf. En ellos se establece la velocidad máxima que un surfista puede alcanzar dependiendo de la altura y velocidad de la ola que está siendo surfada mediante la ecuación:

$$v = \frac{1}{3} \left( v_{ola} + \sqrt{v_{ola}^2 + 256 \cdot h_{ola}} \right)$$

donde  $v_{ola}$  y  $h_{ola}$  son velocidad de la ola en millas por hora, y altura de la ola expresada en pies. Esta ecuación es ideal, es decir, supone que no existe ningún tipo de rozamiento. Este no es el caso de una tabla de surf, que como hemos visto anteriormente sufre de rozamiento, pero también es verdad que el surfista, mediante su habilidad empleando diferentes técnicas conocidas como *bombeo* puede incrementar su velocidad. Dado que este estudio pretende

conocer la velocidad a la que un surfista se desplaza sobre la ola para futuras estimaciones, el autor considera que las velocidades obtenidas a partir de la ecuación dada por Hendricks son válidas.

A lo largo de los años se han realizado numerosas comprobaciones mediante mediciones experimentales tanto de las velocidades de avance de la ola como de la ecuación dada por Hendricks, y han concluido que proporcionan datos bastante fiables. El siguiente gráfico muestra la diferencia de velocidades tanto para el surfista como para la ola dependiendo de la altura de la ola expresada en pies:

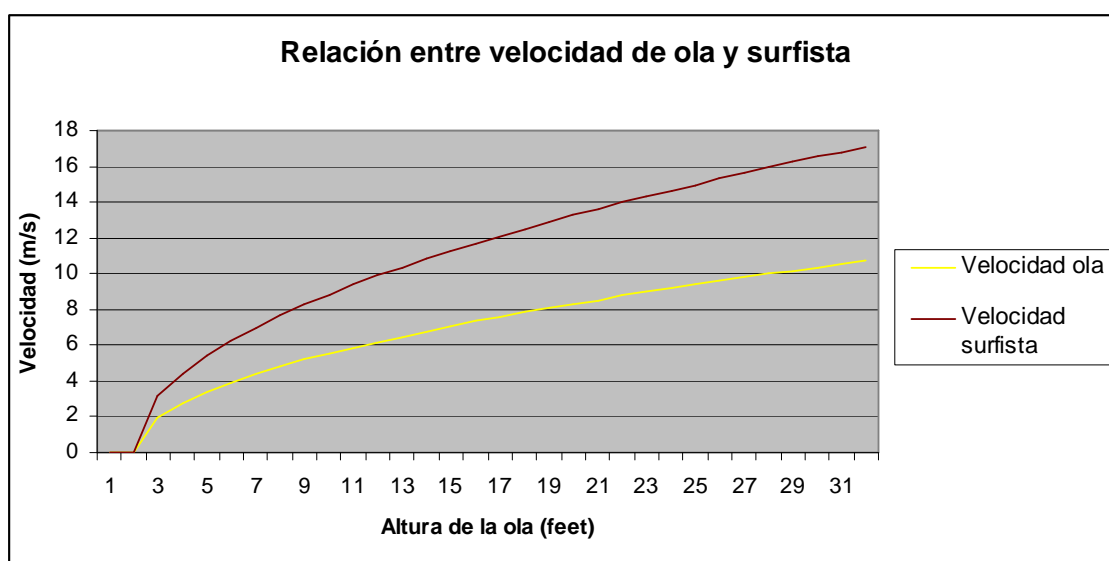


Imagen 3.4 : Gráfico que relaciona velocidad ola y surfista con el tamaño de la ola expresado en pies.

Tal y como se extrae del gráfico superior, la velocidad del surfista siempre y cuando se desplace en línea recta, será superior a la velocidad de la ola si despreciamos el rozamiento de la propia tabla de surf.

Es importante acotar el concepto de altura de la ola. Si bien parece un concepto y medida fácil de evaluar, en la práctica resulta bastante complejo.

Para las fórmulas y suposiciones realizadas en este informe, la altura de la ola se refiere a la altura entre la superficie del mar sin perturbar y la cresta de la ola por el lado de la rompiente. Esta apreciación que en un principio puede parecer obvia, no lo es tanto pues en ciertos lugares como Hawaïi y las Islas Canarias, la altura de la ola se establece como la altura entre la cresta y la base del mar por la parte trasera. Esta altura por tanto sólo puede ser medida si el observador se encuentra dentro del mar. La diferencia entre ambos tipos de medida tiende a aumentar cuanto mayor es la altura de la ola y por tanto más rápida es esta.

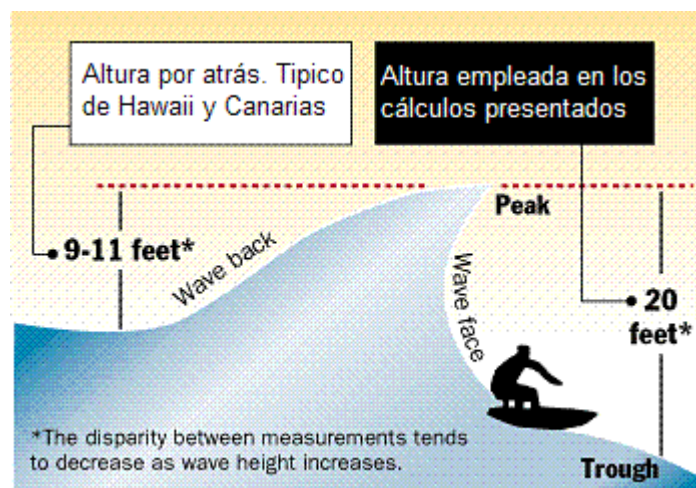


Imagen 3.5: Dibujo que muestra la diferencia entre los tipos de medida. Fuente: NOAA.gov

### 3.2.2 Ecuación de la energía de Sandwell

El Doctor Sandwell de la Univesidad de San Diego, desarrolló en el año 2006 una ecuación que relaciona las energías cinéticas y potenciales de surfista y ola. La ecuación la desarrolló con un interés puramente didáctico para impartir un seminario sobre los aspectos científicos del surf. En conversaciones con el propio Doctor Sandwell, el mismo reconoció que la puesta en práctica de dicha ecuación sería bastante compleja pues requiere de una serie de datos difíciles de evaluar. En cualquier caso se ha valorado esta ecuación para determinar la velocidad de un surfista.

La velocidad de reamada,  $v_{reamada}$ , es la velocidad mínima a la que un surfista se tiene que desplazar para coger una ola que viaja a  $v_{ola}$ . Si recordamos la ecuación de la velocidad de la ola  $v_{ola} = \sqrt{62,83h_{ola}}$  (para  $h$  referida en m) obtenemos

$$v_{reamada} \geq v_{ola} = \sqrt{62,83h_{ola}}$$

para  $h$  referida en metros y  $v$  en m/s. Esa velocidad de reamada tendrá que ser generada por el surfista prácticamente en su totalidad, ya que la superficie del mar antes de la llegada de la ola se considera plana.

Cuando el surfista ha alcanzado la velocidad necesaria, hará el *drop* (ponerse de pie) en la cresta de la ola. A partir de ahí empezará a bajar la pared de la ola, y toda su energía potencial se convertirá en cinética. La velocidad de *drop* puede ser calculada según Sandwell

$$Ec_{drop} = Ec_{inicial} + Ep$$

donde  $Ec$  y  $Ep$  son energía cinética y potencial respectivamente

$$\frac{1}{2}mv_{drop}^2 = \frac{1}{2}mv_{reamada}^2 + mgh_{ola}$$

$$v_{drop}^2 = v_{reamada}^2 + 2gh_{ola}$$

si despejamos la velocidad del drop  $v_{drop}$

$$v_{drop} = \sqrt{v_{reamada}^2 + 2gh_{ola}}$$



Esta ecuación puede ser simplificada. Si suponemos que la velocidad de remada es la misma que la de la ola (recordar que tenía que ser igual o mayor) y empleamos la fórmula propuesta anteriormente, se consigue una expresión que únicamente depende de la altura de la ola,  $h_{ola}$

$$v_{drop} = \sqrt{82,45h_{ola}}$$

Pero esa será la velocidad al ponerse de pie en la cresta de la ola. Según vaya bajando por la pared de la ola, aumentará su velocidad. Según Sandwell, suponiendo que el surfista se encuentra en la parte más vertical de la ola de pendiente  $s$ , en un tiempo  $t$ , el incremento de velocidad está dado por

$$v(t)^2 = \int_0^t s g v_{ola} dt$$

Si resolvemos la integral para un tiempo  $t$  y combinamos la ecuación obtenida con la velocidad de drop,  $v_{drop}$ , obtenemos que la velocidad del surfista después de un tiempo  $t$  surfeando la ola es

$$v(t)_{final}^2 = v_{drop}^2 + v(t)^2 - D$$

$$v(t)_{final}^2 = 3,28gh_{ola} + 1,13ts\sqrt{g^3h_{ola}} - D$$

Este valor de velocidad se refiere a la velocidad absoluta del surfista para un observador que se encuentre en tierra. Si se vuelve la vista hacia atrás y se reflexiona sobre qué velocidad se desea conocer para estudiar las condiciones de trabajo de las quillas uno se da cuenta que la velocidad absoluta del surfista no sirve para nada.

El surfista tiene una componente de velocidad absoluta que no influye en las quillas y se trata de la velocidad de *drop*. La velocidad de *drop* es la velocidad a la que se mueve la cresta de una ola ideal. Sabiendo que el surfista siempre buscará la zona de mayor energía, es decir la de la rompiente, la suposición de que el surfista y la ola se mueven a la misma velocidad parece razonable. Por tanto, el término  $v_{drop}$  de la ecuación anterior es despreciable. La velocidad a la que el surfista (y por consiguiente las quillas) se moverá por la ola vendrá determinada por  $v_{surf}$

$$v(t)_{surf}^2 = v(t)^2 - D$$

$$v(t)_{surf}^2 = \int_0^t sg v_{ola} dt - D$$

$$v(t)_{surf}^2 = sg v_{ola} t - D$$

Si sustituimos la expresión de la velocidad de la ola,  $v_{ola}$ , que a su vez depende de  $h_{ola}$

$$v(t)_{surf}^2 = sg \sqrt{62,83 h_{ola}} \cdot t - D$$

despejando  $v(t)$ :

$$v(t)_{surf} = \sqrt{77,76 \sqrt{h_{ola}} \cdot st - D}$$

Velocidad, en función del tiempo, del surfista respecto de la ola, dependiendo de la altura de la misma y teniendo en cuenta el frenado  $D$  que sufre el conjunto tabla + quillas. El frenado o *drag*  $D$ , es sumamente complicado

de calcular. Depende de la velocidad del surfista, de la geometría de la tabla y las quillas, de la superficie del agua, peso del surfista y más factores.

Dada la complejidad del cálculo de  $D$ , y que lo que se busca es conocer la velocidad máxima a la que un surfista se desplaza en función de la altura de la ola,  $D$  puede despreciarse aún sabiendo que esto influirá directamente en la velocidad. Se considera en todo caso de un error asumible, ya que se está idealizando la velocidad del surfista, suponiendo que el rozamiento no le afecta y por tanto estimando una velocidad mayor que se traduce en unas condiciones de trabajo para las quillas más exigentes.

$$v(t)_{surf} = \sqrt{77,76 \sqrt{h_{ola}} \cdot st}$$

Es en este punto donde la ecuación de la energía de Sandwell muestra sus carencias. La variable  $s$ , que se refiere a la pendiente de la ola resulta sumamente complicada de complicar. En conversaciones con el propio Doctor Sandwell me reconoció que  $s$  tendría que conseguirse de forma empírica. Para ello habría que estudiar fotografías, pero dicho estudio no sería muy fiable pues la pendiente de la ola dependería del ángulo con el cual la fotografía está tomada. La otra forma de evaluar  $s$  y que fue propuesta por Sandwell fue utilizar un Scanner de Láser 3D que proporcionaría una imagen tridimensional de la ola. Este sistema es inviable ya que la tecnología propuesta está fuera del alcance de este proyecto.

Además, aún realizando una aproximación de la pendiente de la ola (que recordemos que es variable), habría que determinar el tiempo que tarda en bajar la ola el surfista que a su vez es función de la pendiente y altura. Esto complica enormemente la ecuación haciéndola inviable para este proyecto.

A pesar de que la ecuación de la energía propuesta por Sandwell tiene un planteamiento más riguroso que el de Hendricks, en la práctica presenta ciertas complicaciones, como se ha comprobado anteriormente, razón por la cual se ha decidido utilizar la ecuación de Hendricks como modelo para conocer la velocidad de un surfista en la ola.

### 3.3 Fuerzas sobre las quillas

Las condiciones de trabajo de las quillas son tremendamente complejas. Se trata de unos perfiles aerodinámicos de geometría compleja a través de los que fluye una corriente de un fluido, en este caso agua salada. Hasta ahí podría ser relativamente fácil, la dificultad viene si se tiene en cuenta el carácter variable de las condiciones en las que ese fluido fluye (valga la redundancia) a través del perfil (la quilla). Esta variación es constante e imposible de predecir, por tanto se han realizado ciertas suposiciones:

- Altura de ola máxima surfeable 4m, equivalente a 13pies.
- Geometría de la quilla conocida y coeficientes de sustentación y arrastre conocidos para diferentes ángulos de ataque.
- Densidad del agua de mar media a 20°C: 1027kg/m<sup>3</sup>
- Condiciones críticas de funcionamiento, maniobra crítica: Cutback.

Con éstas suposiciones y con la información que se adjunta en el Anexo titulado “Hidrodinámica y Cinética del Surf” en el que se habla de la ecuación

de Hendricks se puede decir que la velocidad máxima de un surfista en una ola de 4m de altura será de:

$$V_{mas} \approx 11,26m / s$$

Esa es la velocidad máxima que se puede esperar que alcance un surfista en una ola de altura máxima de 4m. Esta velocidad es teórica y no comprende los esfuerzos de frenado a los que está expuesto el conjunto surfista-tabla por tanto es un valor superior al real. Esta diferencia de valores no hace sino permitir un diseño más seguro y la posibilidad de utilizar coeficientes de seguridad más bajos en el cálculo de las fuerzas.

Si ahora se piensa en la maniobra que más presión va a ejercer sobre una quilla en esas condiciones será el *Cutback*. En el mismo Anexo citado anteriormente se explica de qué consta ésta maniobra, pero resumiendo, se trata de dar un giro de 180º sin perder velocidad. Así pues, la quilla (cada una de ellas) estaría en el momento de mayor esfuerzo soportando una corriente de agua perpendicular a 11,26m/s.

Hasta aquí la modelización del sistema es más o menos sencilla. Lo complicado es determinar la fuerza que esa corriente de 11,26m/s ejerce sobre cada una de las quillas. Aquí es donde se ha utilizado la Tesis Doctoral titulada “Hydrodynamics of Surfboard Fins” del Dr. David John Carswell presentada en el 2007 en la Universidad de Swansea, Reino Unido. Dicha Tesis trata de intentar comprender el comportamiento hidrodinámico de las quillas para optimizar su futuro diseño. De la gran información recopilada por el Doctor Carswell, resulta especialmente útil para éste proyecto, conocer las fuerzas a las que las quillas están expuestas durante una sesión de surf. Para ello, el Dr. Carswell realizó simulaciones mediante programas de elementos finitos del

catálogo de quillas de la empresa californiana Red-X suministradas por el gerente de ésta Tom O'Keefe y validó sus resultados con ensayos en un tanque de pruebas. Éste trabajo de investigación tenía dos metas: una conocer las fuerzas que una quilla soporta y la segunda, derivada de la primera ser capaz de diseñar una quilla con mínima fricción que permitiese al surfista alcanzar mayores velocidades. Desgraciadamente el segundo objetivo no pudo ser alcanzado pero para éste proyecto, la primera parte de la Tesis resulta tremendamente útil.

Para obtener los valores de los coeficientes de fricción y arrastre de una quilla, se han utilizado los coeficientes referidos al modelo X1 de Red-X Fins. Esto es así pues es el modelo con mayor área superficial, lo que implicará que sufrirá mayores esfuerzos en las condiciones de trabajo anteriormente expuestas.

Siguiendo con el razonamiento de la maniobra que más fuerza ejercerá sobre la quilla, el *Cutback*, es razonable pensar que la quilla se encontrará a 90° del flujo de líquido, que se estará desplazando a una velocidad de 11m/s. En esas condiciones de trabajo, y según el Doctor Carswell, los coeficiente de arrastre y sustentación son los siguientes.

Coeficiente	Valor
Sustentación	3
Arrastre	0,15

Imagen 3.6: Coeficientes de sustentación y arrastre de quilla X1 para ángulo de -90°.

Con estos valores y las suposiciones previas que se han hecho, resulta fácil calcular las fuerzas perpendicular y longitudinal a las que está expuesta la quilla utilizando la siguiente ecuación

$$F_n = C_n \frac{1}{2} \rho v^2 A$$

donde  $C_n$  es el coeficiente de arrastre o sustentación,  $F_n$  la fuerza de arrastre o sustentación,  $\rho$  la densidad del fluido (9800N/m<sup>3</sup>),  $v$  la velocidad del fluido en m/s (11m/s) y  $A$  el área superficial de la quilla en m<sup>2</sup> (8,71x10<sup>-3</sup>m<sup>2</sup>). Con estos valores la fuerza de sustentación que soporta la quilla es de

$$F_L=15492N$$

o lo que es lo mismo

$$F_L=1580kg$$

Si se analiza éste resultado, es obvio que no es un valor correcto. Es imposible que una quilla pueda soportar una fuerza de 1500kg (más de lo que pesa un coche). Por tanto hay que volver a revisar las suposiciones previas realizadas.

El valor más crítico es el de la velocidad, pues está elevado al cuadrado. Mediante la ecuación de Hendricks, se estableció que un surfista en una ola de 5 4m de altura, se desplazaría sobre ésta a una velocidad máxima 11m/s y esa es la velocidad utilizada en esa primera estimación que ha resultado errónea. Repasando ésta suposición, resulta fácil comprobar que 11 m/s es una gran

velocidad (40km/h) para una tabla de surf que planea sobre el agua, no obstante es la velocidad máxima que puede alcanzar.

Si nos fijamos en la forma en la que se realiza un *Cutback*, nos daremos cuenta de que éste nunca se realiza en la parte más baja de la ola, sino más bien en la mitad superior de ésta. Así pues, la velocidad máxima alcanzada por el surfista, no será la correspondiente a una ola de 4m de altura sino justamente la mitad, 2m de altura. Volviendo a la ecuación de Hendricks, se obtiene que la velocidad máxima del surfista para una ola de 2m de altura es de 6m/s.

Además, en las suposiciones previas no se ha tenido en cuenta el siguiente factor de suma importancia. Para realizar el *Cutback*, el surfista debe inclinar la tabla para hacerla girar. Ese giro tiene dos implicaciones:

- El ángulo de la quilla respecto al movimiento ya no es perpendicular a éste sino inclinado entre 45 y 80 grados.



*Imagen 3.7: Posición del surfista en la ola y de la tabla durante Cutback.*



- La presión que ejerce el agua sobre el sistema quilla-tabla ya no recae únicamente en la quilla, sino todo lo contrario, pasa a ser soportada por el *bottom* o parte de contacto con el agua de la tabla.

Teniendo en cuenta éstas dos apreciaciones, hay que calcular la velocidad con la que el fluido impactará perpendicularmente contra la quilla para poder calcular los esfuerzos que ésta soporta.

Aún con esa suposición los valores de fuerza que soporta la quilla siguen siendo tremendamente altos, por lo que se tuvieron que revisar las suposiciones desde el principio.

Nuevamente se detectó un error en la estimación de la velocidad. Si bien mediante la ecuación de Hendrick's se puede conocer la velocidad máxima del surfista cuando está haciendo surf sobre ella en función de la altura de la misma, ésta no es la velocidad absoluta a la que el surfista se mueve respecto de la ola. La ola a su vez tiene una velocidad a la que se desplaza sobre el mar, por tanto la velocidad máxima a la que el surfista se desplazará sobre la ola no es otra que la diferencia entre las velocidades de surfista y ola.

Con esta nueva aclaración, la velocidad del surfista respecto de la ola en función de la altura de ésta se muestra en la siguiente tabla:

Altura ola (m)	Velocidad Surfista respecto a la ola (m/s)
0,0	0,00
0,3	1,17
0,6	1,65
0,9	2,02
1,2	2,34
1,5	2,61
1,8	2,86
2,1	3,09
2,4	3,30
2,7	3,50
3,0	3,69
3,4	3,87
3,7	4,04
4,0	4,21
4,3	4,37
4,6	4,52
4,9	4,67
5,2	4,81
5,5	4,95
5,8	5,09
6,1	5,22
6,4	5,35
6,7	5,48
7,0	5,60
7,3	5,72
7,6	5,84
7,9	5,95
8,2	6,07
8,5	6,18
8,8	6,29
9,1	6,39

Ahora las condiciones de cálculo de esfuerzos soportados por la quilla son las siguientes:

- Altura máxima de la ola de 4m
- Maniobra crítica Cutback (se realiza en la mitad superior de la ola):  $v_{\max} = 3m/s$
- Densidad del agua 1027kg/m<sup>3</sup>
- Ángulo de inclinación de la tabla: 55°
- Coeficiente de sustentación conocido: 3
- Área de la quilla conocida:  $8,71 \cdot 10^{-3} m^2$

Con éstas condiciones y utilizando la ecuación

$$F_L = \frac{1}{2} C_L A \rho v^2$$

se calcula que la fuerza máxima es de

$$\underline{F_L=39,73kg}$$

que resulta una aproximación todavía demasiado elevada. Tal circunstancia quedaba reflejada en las simulaciones realizadas, en las que las deformaciones máximas de las piezas estudiadas excedían los 80mm, más del 100% de deformación. Obviamente esos valores advertían de graves errores en las estimaciones de velocidad efectuadas.

Ante el estancamiento en el cálculo de la velocidad del surfista mediante la maniobra, se recurrió nuevamente a Tom O'Keefe de Daum Tooling Inc. y al

entrenador de surf Ignacio Ayuela para obtener un valor más próximo a la realidad.

El entrenador de surf Ignacio Ayuela desechó directamente la estimación de que la velocidad máxima fuese de 3m/s, asegurando que la fuerza generada a esa velocidad sería imposible de soportar ni por el surfista ni por la tabla, pues superaría los 3000N de fuerza ejercidos sobre ambos. Desgraciadamente no supo definir un valor de velocidad aproximado de velocidad.

La solución vino de la mano del experto diseñador de quillas Tom O'Keefe, que tras ser informado de las suposiciones realizadas las desechó inmediatamente. Como argumentos utilizó el mismo que el entrenador Ayuela: la imposibilidad de soportar por parte del surfista la fuerza ejercida sobre la tabla, y puso en duda la suposición de perpendicularidad de la quilla respecto al flujo de agua. Según O'Keefe, el cutback es sin duda la maniobra más exigente para las quillas que un surfista puede realizar. Pero la suposición de que el flujo de agua y la quilla son perpendiculares la descartó directamente pues en tal caso el surfista perdería toda su velocidad.

Tras conversaciones vía e-mail, aseguró que ángulos de ataque mayores a 65º y velocidades superiores a 0,8m/s resultaban impensables. Como argumento para tal descenso en la velocidad máxima, aseguró que la ecuación de Hendricks, con la que estaba familiarizado, determinaba en exclusiva la velocidad máxima del surfista bajando la cresta de la ola y en ningún caso la velocidad de éste cuando surfeaba la “pared” de la ola. Obviamente, el descenso de la cresta de la ola, más parecido a una caída libre que a surfear sobre la ola proporciona velocidades mucho mayores que el hacer surf sobre la ola.

Tras tal cambio en las suposiciones, se recurrió al profesor Sandwell que había desarrollado un método energético para determinar la velocidad del surfista al menos teóricamente. Si bien no fue capaz de determinar la velocidad máxima del surfista en las condiciones de estudio, si aprobó la estimación de O'Keefe de no suponer velocidades mayores a 0,8m/s.

Tras las conversaciones con estos tres expertos en la materia, se decidió cambiar dos aspectos de las condiciones de cálculo de esfuerzos sobre la quilla: Ángulo de ataque de 65<sup>a</sup> y velocidad de 0,8m/s. Con éstos nuevos parámetros las condiciones de cálculo son:

- Densidad del agua 1027kg/m<sup>3</sup>
- Área de la quilla conocida:  $8,71 \cdot 10^{-3} m^2$
- Ángulo de inclinación de la tabla: 55°
- Ángulo de ataque 65°. C. sustentación: 2; C. Arrastre: 0,8
- Velocidad del flujo respecto quilla: 0,8m/s
- Centro de presiones respecto a borde de ataque en la base de la quilla: Gx=80,46mm; Gz=52,75mm.

Éstas suposiciones dan lugar a las siguientes fuerzas y momentos.

Fuerza	Newton	Kg
Sustentación	32,18	3,28
Arrastre	12,87	1,31
Momento eje x	1,696N.m	
Momento eje z	0,77N.m	

*Imagen 3.8: Esfuerzos máximos soportadas por una quilla en la base.*

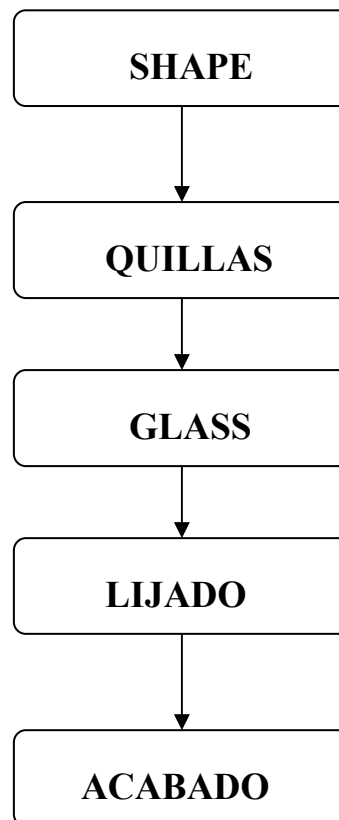
## **ANEXO 4**

### ***MANUAL DE INSTALACIÓN***

## 4 MANUAL DE INSTALACIÓN

El cajetín diseñado ha de ser instalado en la tabla de surf para poder llevar a cabo su función. Para que ésta instalación sea adecuada se ha realizado un manual esquematizado de los pasos y operaciones a realizar para que ésta sea satisfactoria.

El montaje del cajetín ha de ser llevado a cabo durante la fabricación misma de la tabla de surf entre las fases de *shape* y *glass*.



## 4.1 Kit de Instalación

Para facilitar el montaje de los cajetines, la persona que los instale en la tabla de surf dispondrá de un kit de herramientas diseñadas para tal efecto que consta de los siguientes elementos:

- 1 Bandeja de vacío
- Plantilla 1
- Plantilla 2
- 1 centrador
- Pegatinas de 1mm de espesor.

La bandeja de vacío fija la bandeja sobre la que se colocarán las plantillas para el tallado de la cavidad donde se montará el cajetín. De éste modo no habrá movimientos durante la operación de tallado que puedan dar errores de montaje. El centrador que se trata de una lámina transparente se usará para colocar la bandeja de vacío en el lugar adecuado.

Las dos plantillas se usarán para el tallado de los dos contornos necesarios, a dos alturas

Además del kit de instalación diseñado serán necesarias algunas herramientas de uso común:

- Compresor de aire
- Fresadora de mano
- Fresa cilíndrica de Ø4mm como máximo
- Cutter o cuchilla afilada



Y para fijar de forma definitiva el cajetín en su lugar, se necesitará una mezcla que habrá que realizar al 50% de:

- Microbalones
- Poliester

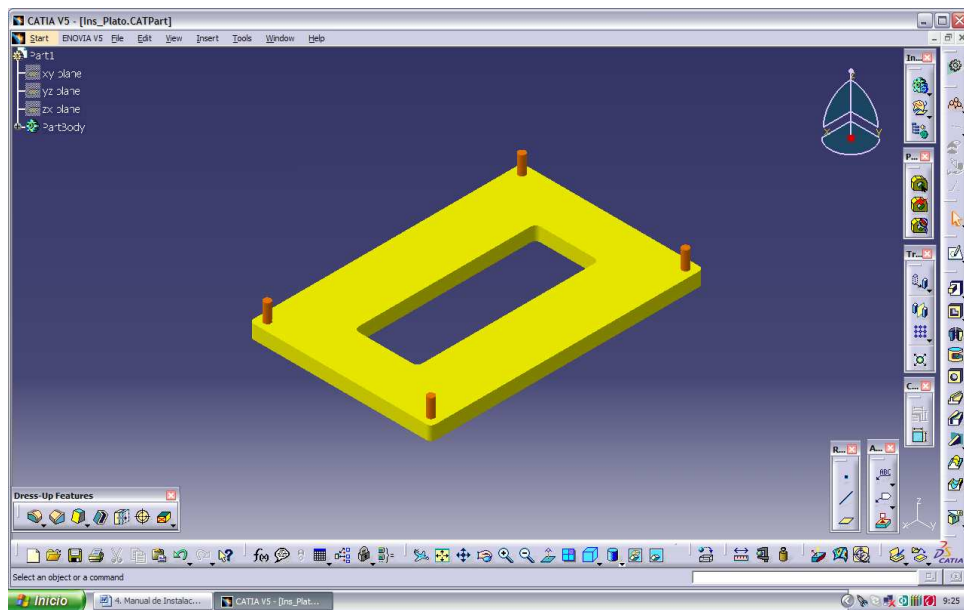


Figura 4.1: Plato de vacío

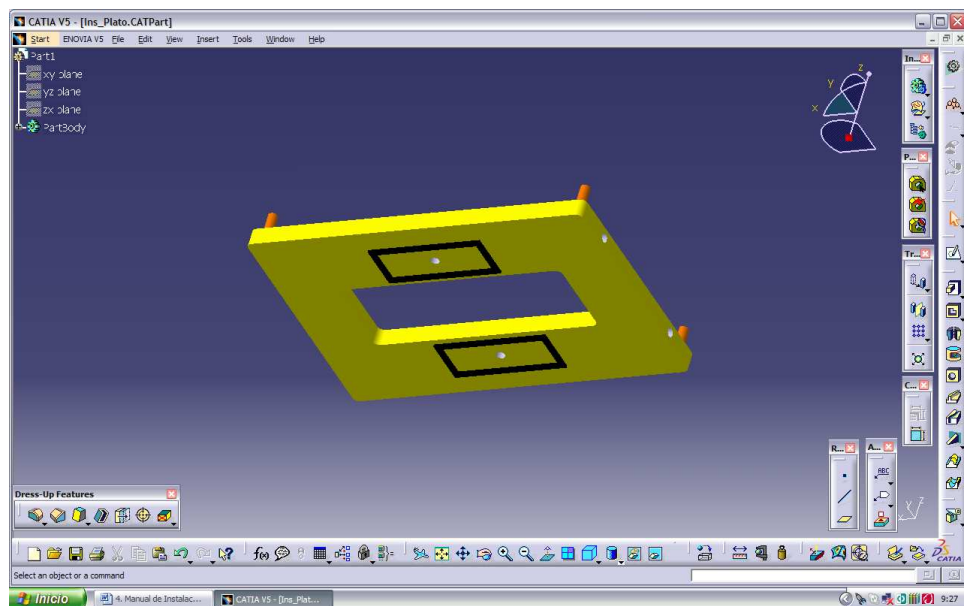


Figura 4.2: Plato de vacío. Detalle ventosas y conexiones de rácores.

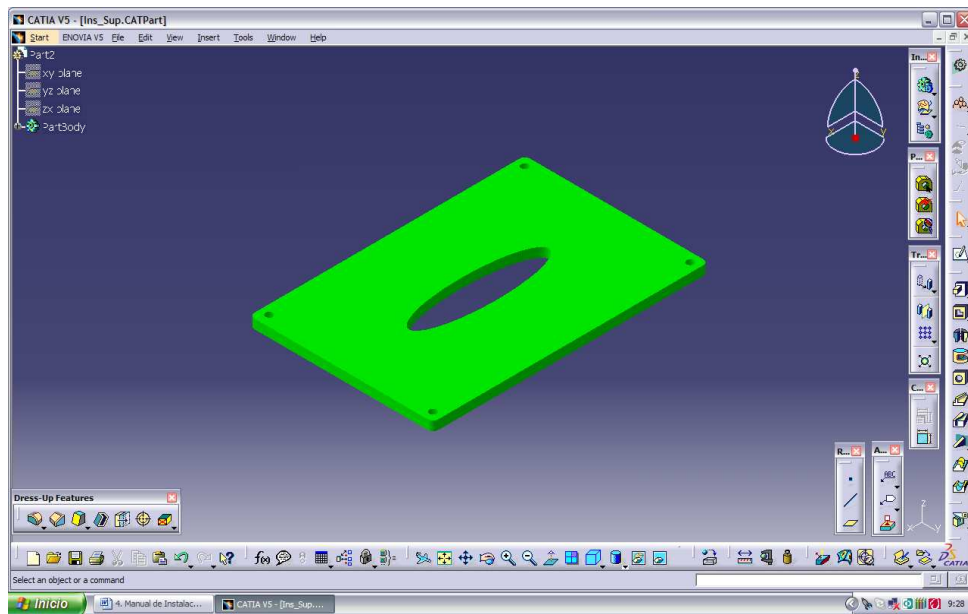


Figura 4.3: Detalle Plantilla 1

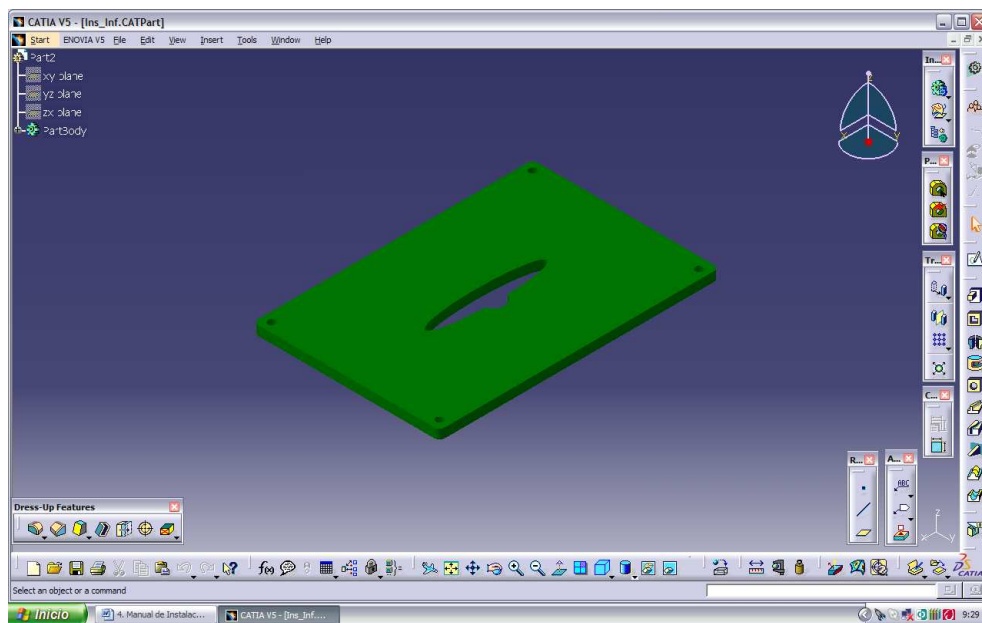


Figura 4.4: Detalle Plantilla 2

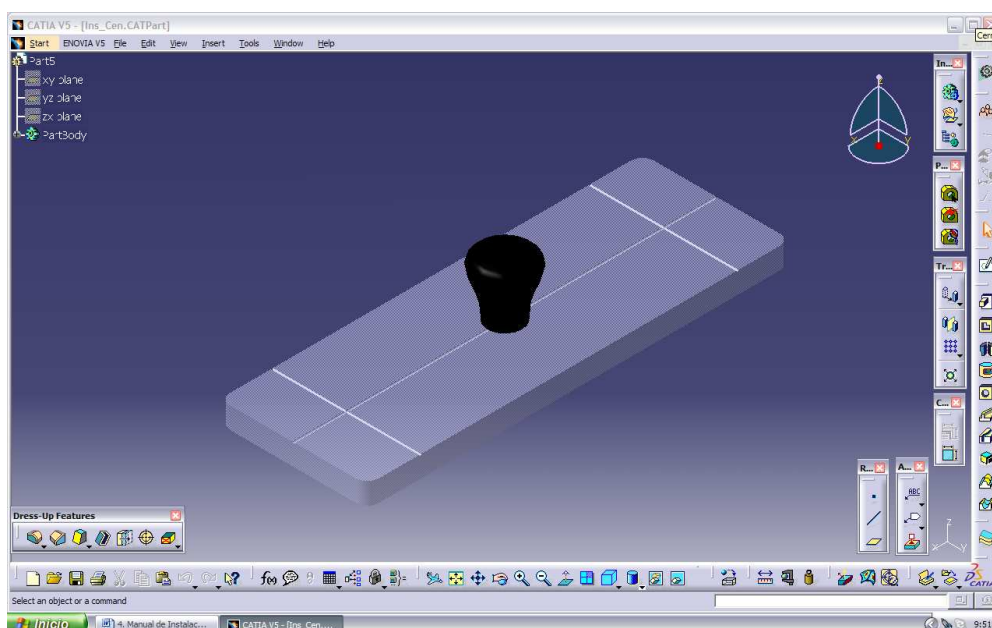


Figura 4.5: Detalle Centrador.

## 4.2 Instalación

Como se ha dicho anteriormente, la instalación de los cajetines se realizará tan pronto como acabar de dar la forma deseada al foam. Una vez hecho eso, y después de que el *shaper* haya decidido dónde quiere que estén posicionadas las quillas, podrán instalarse los cajetines.

### Paso 1

Conectar los racores del plato de vacío al compresor de aire y comprobar que las ventosas hacen un ligero vacío.

### Paso 2

Colocar el Plato de Vacío sobre la tabla y con el centrador colocarlo en la posición adecuada. Una vez comprobado, abrir los racores para que el vacío fije el plato de forma segura a la tabla. Retirar el centrador.

### Paso 3

Colocar la Plantilla 1 sobre el Plato de Vacío ayudándose de los elementos centradores de los que dispone éste último. Comprobar que Plato y Plantilla hacen contacto en toda su superficie.

### Paso 4

Colocar fresadora de mano con fresa de Ø4mm sobre la plantilla. Ajustar la profundidad de pasada a 20,5mm. Conectar la fresadora y realizar la cavidad. Retirar la fresadora y comprobar que la elipse se ha realizado correctamente.

### Paso 5

Retirar Plantilla 1 y colocar Plantilla 2 sobre el Plato de Vacío valiéndose de los centradores de éste último. Colocar la Plantilla 2 de tal forma que el tornillo del cajetín siempre quede hacia el interior (alma) de la tabla de surf.

### Paso 6

Colocar fresadora de mano con fresa de Ø4mm sobre la Plantilla 2. Ajustar la profundidad de pasada de la fresadora a 37,5mm. Conectar la fresadora y realizar el agujero, comprobando que éste se hace de forma correcta. Desconectar y retirar la fresadora.

### Paso 7

Cerrar los racores del plato de vacío y retirar éste de encima de la tabla. Comprobar que el agujero se ha hecho correctamente y con el aire del compresor limpiar de restos el agujero. Después, iniciar la generación de los demás agujeros. Para ello volver al paso 1 de nuevo.

### Paso 8

Una vez realizados los 3 agujeros, 1 para cada cajetín, introducir cada cajetín en su agujero realizando una ligera presión para que los nervios den forma al foam. Después de esto retirar los cajetines.

### Paso 9

Realizar una mezcla de poliéster catalizado y microbalones al 50%. Realizar alrededor de 50ml de mezcla.

### Paso 10

Verter en cada agujero 10ml de mezcla intentando que ésta se distribuya de forma homogénea por las dos alturas y todas las paredes. Si es necesario utilizar una brocha.

### Paso 11

Insertar los cajetines, hasta el fondo y comprobando su perpendicularidad a la tabla con la ayuda de una escuadra. Una vez hecho eso, y comprobada la correcta colocación de cada cajetín, retirar el sobrante de poliéster con un paño. Dejar secar durante al menos 1 hora.

### Paso 12

Colocar sobre la ranura de la quilla y sobre el agujero del tornillo sus correspondientes pegatinas de 1mm de espesor. Laminar la tabla de surf de forma convencional.

### Paso 13

En el lijado de la tabla de surf, las pegatinas desaparecerán, dejando a la vista y listos para su utilización los cajetines. En caso contrario, ayudándonos de un cutter, cortar ligeramente el perímetro de la pegatina, y retirar ésta.

### Paso 14

Realizar control sobre los cajetines. Comprobar que la fibra y el posiester han quedado perfectamente al cajetín y que no hay burbujas de aire o irregularidades que puedan ocasionar una rotura o deterioro prematuro.

# CASA DE LA CALIDAD

[illegible]

Tabla de características del diseño. COMO's

nº	FUNCIÓN	CRITERIO	NIVEL	TOLERANCIA	SIGNO ÓPTIMO
1	Que se deforme poco lateralmente	Módulo Elástico	1GPa	2	▲
2	Que tenga la misma flexibilidad que la tabla de surf	Módulo Elástico	1GPa	2	▲
3	Que no pese más de 50gr por cajetín	Densidad (gr/cc)	2,5gr/cc	±1gr/cc	=
4	Que sea de colores o traslúcido	Variedad de colores	4	±2	▼
5	Que tenga olor neutro	Encuestas	60%	±15%	▼
6	Que sea resistente al desgaste	Rockwell	110	±10	▲
7	Que no sea frágil	Charpy	3J/cm2	±2	=
8	Que sea resistente a impactos, esfuerzos y corrosión	Tiempo	10 años	±2	▲
9	Que tenga un diseño compacto	Volumen	20cc	±10	▼
10	Que sea resistente a la radiación solar	Tiempo	1 año	=	=
11	Que sea resistente a la sal	Tiempo	10 años	±2	▲
12	Que esté fabricado en material compatible con epoxi y poliester	Propiedades material			▲
13	Que las tolerancias sean adecuadas	Dimensiones pieza(s)	Tolerancia	±0,1mm	▲
14	Que tenga geometría homogénea	Radio curvatura	R=5mm	±1mm	▼
15	Que el material no sea nocivo	Normas		=	▲
16	Que no tenga bordes cortantes	Bordes cortantes	R=1mm	±0,5mm	▼
17	Que no sea contaminante	Normas		=	▲



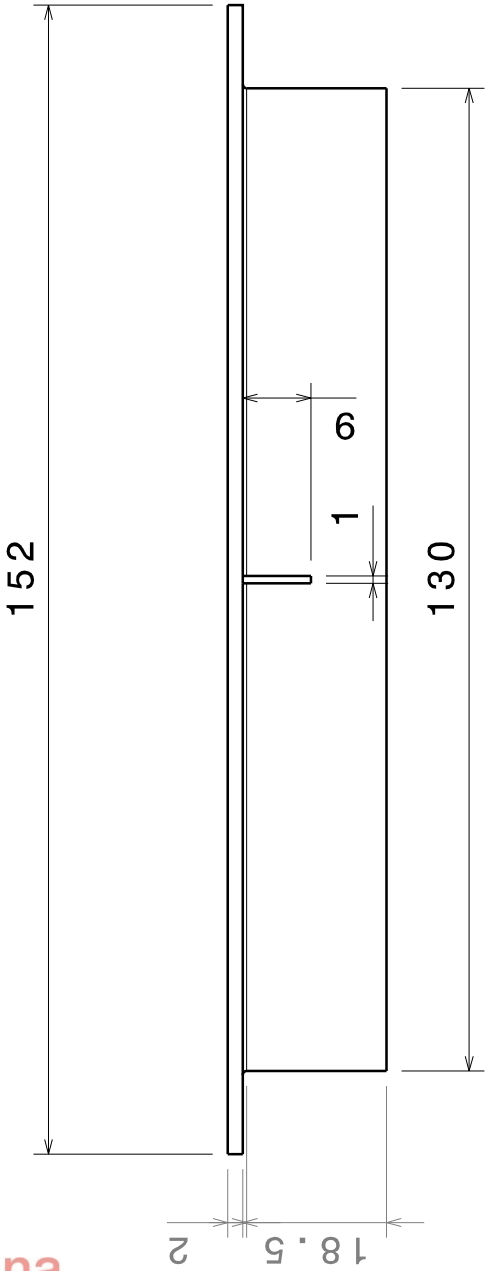
QFD - PRIORIZACIÓN de REQUISITOS del CLIENTE

Método SAATY

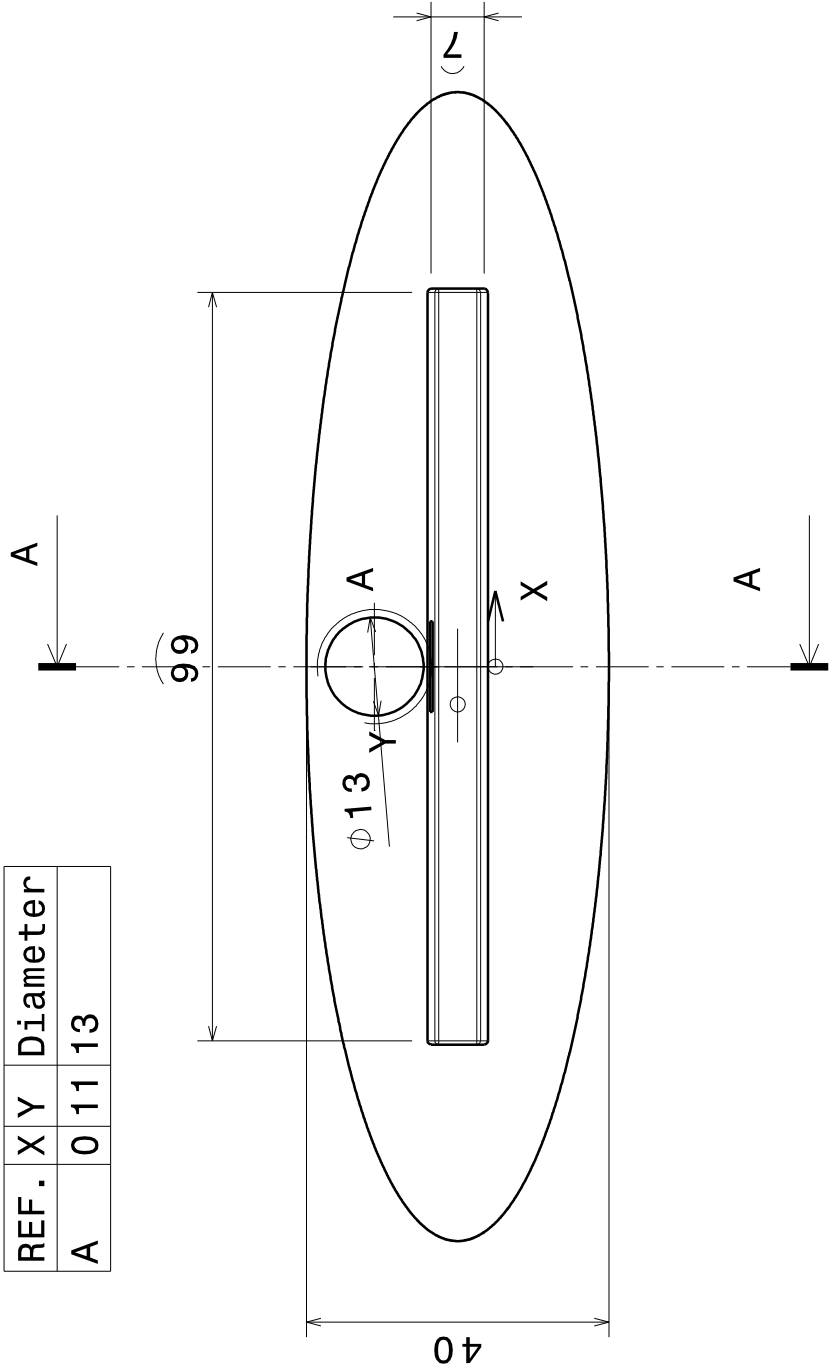
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
1	Que se deforme poco lateralmente	1	1	0.5	0.25	0.5	0.25	1	0.5	1	0.25	0.25	1	1	0.25	0.25	1	0.5	0.5	1	0.5	1	4	1	2	1	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	0.5	4	1	4	
2	Que tenga la misma flexibilidad que la tabla de surf	1	1	1	0.5	0.5	0.5	1	0.5	1	0.25	0.25	1	1	0.25	0.25	1	1	0.5	1	0.5	1	4	1	2	1	0.5	0.5	1	0.25	0.25	0.5	4	2	4	
3	Que tenga un diseño simple.	2	1	1	0.5	1	1	1	1	1	0.5	0.25	1	1	0.25	0.25	2	1	1	4	0.5	2	4	2	4	2	1	1	1	0.5	0.5	2	4	4	4	
4	Que se accione con una mano.	4	2	2	1	0.25	0.5	1	0.5	1	0.5	0.25	1	1	0.25	0.25	1	1	0.5	2	0.5	1	4	1	2	1	1	0.5	1	0.5	0.5	1	4	1	4	
5	Que no tenga tornillos/piezas sueltas.	2	2	1	4	1	2	2	2	4	1	0.5	2	2	0.5	0.5	4	2	1	4	1	2	1	4	1	2	4	2	1	1	1	4	4	4	4	
6	Que no pese más de 50gr por cajetín.	4	2	1	2	0.5	1	2	1	1	0.25	0.25	2	2	0.5	0.5	2	1	0.5	4	1	2	4	2	2	2	1	1	2	0.5	0.5	1	4	2	4	
7	Que tenga unas herramientas de instalación sencillas y eficaces.	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	1	0.25	0.25	1	1	0.5	0.5	1	0.5	1	2	0.5	2	4	1	2	1	1	1	1	0.5	0.5	1	4	2	4	
8	Que las instrucciones sean claras.	2	2	1	2	0.5	1	1	1	1	0.5	0.25	2	2	1	0.25	2	1	1	4	1	2	4	2	2	2	1	1	1	1	1	2	4	2	4	
9	Que las herramientas sean robustas y duraderas.	1	1	1	1	0.25	1	1	1	1	0.5	0.25	1	2	0.5	0.25	2	1	1	2	0.5	2	4	2	2	2	1	1	1	1	1	2	4	2	4	
10	Que sea de colores o traslúcido.	4	4	2	2	1	4	4	2	2	1	0.5	1	0.5	1	1	4	1	2	4	1	4	4	4	4	4	0.5	0.5	1	1	1	2	4	1	4	
11	Que tenga un olor neutro.	4	4	4	4	2	4	4	4	4	2	1	4	2	4	1	4	2	4	4	1	4	4	4	4	4	2	2	4	2	2	2	4	2	4	
12	Que sea resistente al desgaste y robusto.	1	1	1	1	0.5	0.5	1	0.5	1	1	0.25	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1	2	0.5	1	4	2	2	2	1	1	1	0.5	0.5	1	4	2	4	
13	Que no sea frágil	1	1	1	1	0.5	0.5	1	0.5	0.5	2	0.5	2	1	1	0.5	1	1	0.5	1	0.5	1	4	1	2	1	0.5	1	1	0.5	0.5	0.5	4	1	4	
14	Que el embalaje no deteriore el producto.	4	4	4	4	2	2	2	1	2	1	0.25	2	1	1	0.5	1	2	4	4	2	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	4	1	4
15	Que no sea engorroso de retirar.	4	4	4	4	2	2	2	4	4	1	1	2	2	2	1	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	4	4	2	4
16	Que sea resistente a los impactos, esfuerzos y corrosión .	1	1	0.5	1	0.25	0.5	1	0.5	0.5	0.25	0.25	1	1	1	0.25	1	0.5	0.25	1	0.5	1	4	1	2	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	4	1	4	
17	Que tenga un diseño compacto.	2	1	1	1	0.5	1	2	1	1	1	0.5	1	1	0.5	0.25	2	1	1	2	0.5	2	4	1	1	2	0.5	1	1	0.5	0.5	1	4	1	4	
18	Que no tenga agujeros innecesarios.	2	2	1	2	1	2	1	1	1	0.5	0.25	1	2	0.25	0.25	4	1	1	2	1	2	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1	4	1	4	
19	Que no adquiera holguras o desajustes.	1	1	0.25	0.5	0.25	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.25	0.5	1	0.25	0.25	1	0.5	0.5	1	0.25	0.5	2	2	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	0.5	4	1	4	
20	Que sea resistente a la radiación solar	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1	2	2	0.5	0.5	2	2	1	4	1	0.5	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	1	4	1	4
21	Que sea resistente a la sal.	1	1	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	1	1	0.25	0.25	1	0.5	0.5	2	2	1	2	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	4	1	4	
22	Que esté fabricado en material compatible con resinas epoxi y poliéster	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	0.25	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	2	0.5	2	
23	Que las dimensiones y tolerancias sean adecuadas.	1	1	0.5	1	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.25	0.25	0.5	1	0.25	0.25	1	1	0.5	0.5	0.25	1	2	1	1	0.5	0.25	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	2	0.5	2	
24	Que sea eficaz.	0.5	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	0.5	0.5	0.25	0.25	0.5	1	0.5	1	0.25	1	2	1	1	0.5	0.5	0.25	0.5	0.5	0.5	4	0.5	4		
25	Mayor Módulo Elástico que el material de la quilla (fibra de vidrio)	1	1	0.5	1	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.25	0.25	0.5	1	0.25	0.25	1	0.5	0.5	2	0.25	1	2	2	1	1	0.5	0.5	1	0.25	0.25	0.5	4	0.5	4	
26	Que tenga una geometría homogénea y sin puntos angulosos.	2	2	1	1	0.25	1	1	1	1	2	0.5	1	2	0.5	0.5	2	2	1	2	0.5	2	4	4	2	2	1	2	1	0.5	0.5	1	4	1	4	
27	Que tenga un diseño compacto y robusto.	2	2	1	2	0.5	1	1	1	1	2	0.5	1	1	0.5	0.5	2	1	1	2	0.5	2	4	2	2	2	0.5	1	0.5	0.5	0.5	2	4	1	4	
28	Que no tenga tornillos.	2	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1	0.25	1	1	0.5	0.5	2	1	1	2	0.5	2	4	4	4	1	1	2	1	0.5	0.5	2	4	1	4	
29	Que la quilla tenga ranuras asimétricas.	4	4	2	2	1	2	2	1	1	1	0.5	2	2	0.5	0.5	2	2	1	4	0.5	2	4	4	2	4	2	2	2	1	1	4	4	1	4	
30	Que el cajetín sea asimétrico.	4	4	2	2	1	2	2	1	1	1	0.5	2	2	0.5	0.5	2	2	1	4	0.5	2	4	4	2	4	2	2	2	1	1	2	4	2	4	
31	Que la quilla se pueda montar y desmontar con una sola mano.	2	2	0.5	1	0.25	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	1	2	0.5	0.25	1	1	1	2	1	2	4	4	2	2	1	1	0.5	0.25	0.5	1	4	1	4	
32	Que el material no sea nocivo para personas ni animales.	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1	2	4		
33	Que no tenga bordes cortantes o afilados.	1	0.5	0.25	1	0.25	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	1	0.5	0.5	1	1	1	1	1	0.5	2	2	2	2	1	1	1	1	0.5	1	0.5	1	4	
34	Que no sea contaminante.	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1	

Peso por función	64	56	36	46	14	29	41	26	34	19	3	38	40	11	3	56	35	30	75	15	54	110	74	69	62	28	30	32	16	15	41	121	45	129
Porcentaje (%)	0,043	0,037	0,024	0,031	0,009	0,019	0,027	0,017	0,023	0,013	0,002	0,025	0,027	0,007	0,002	0,037	0,023	0,020	0,050	0,010	0,036	0,073	0,049	0,046	0,041	0,019	0,020	0,021	0,011	0,010	0,027	0,081	0,030	0,086
Requisitos preponderantes (>3,5%)																																		
Ponderación de mercado	5	5	3	4	1	2	3	2	3	2	1	3	3	1	1	5	3	2	5	1	4	5	5	5	5	2	2	3	2	1	3	5	3	5

Criterio de Valoración de requisitos	
Mucho más importante	4
Más importante	2
Igual de importante	1

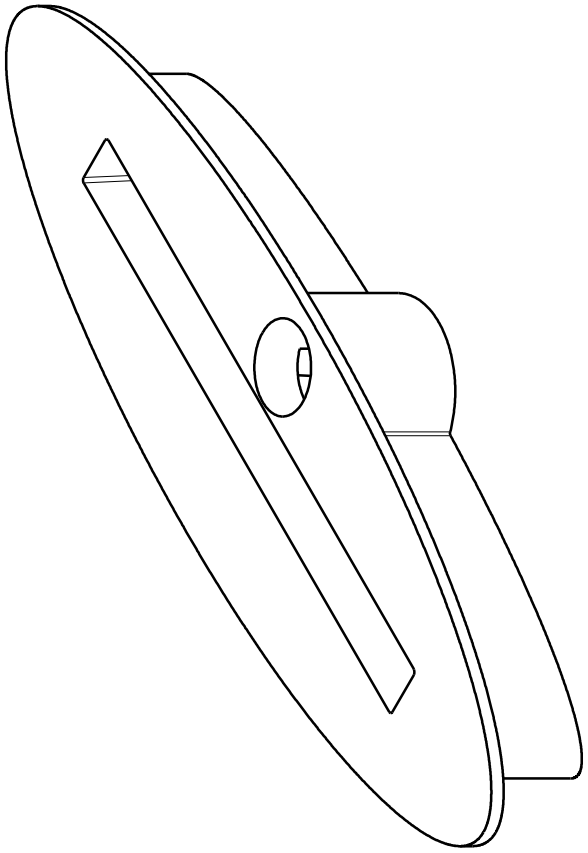
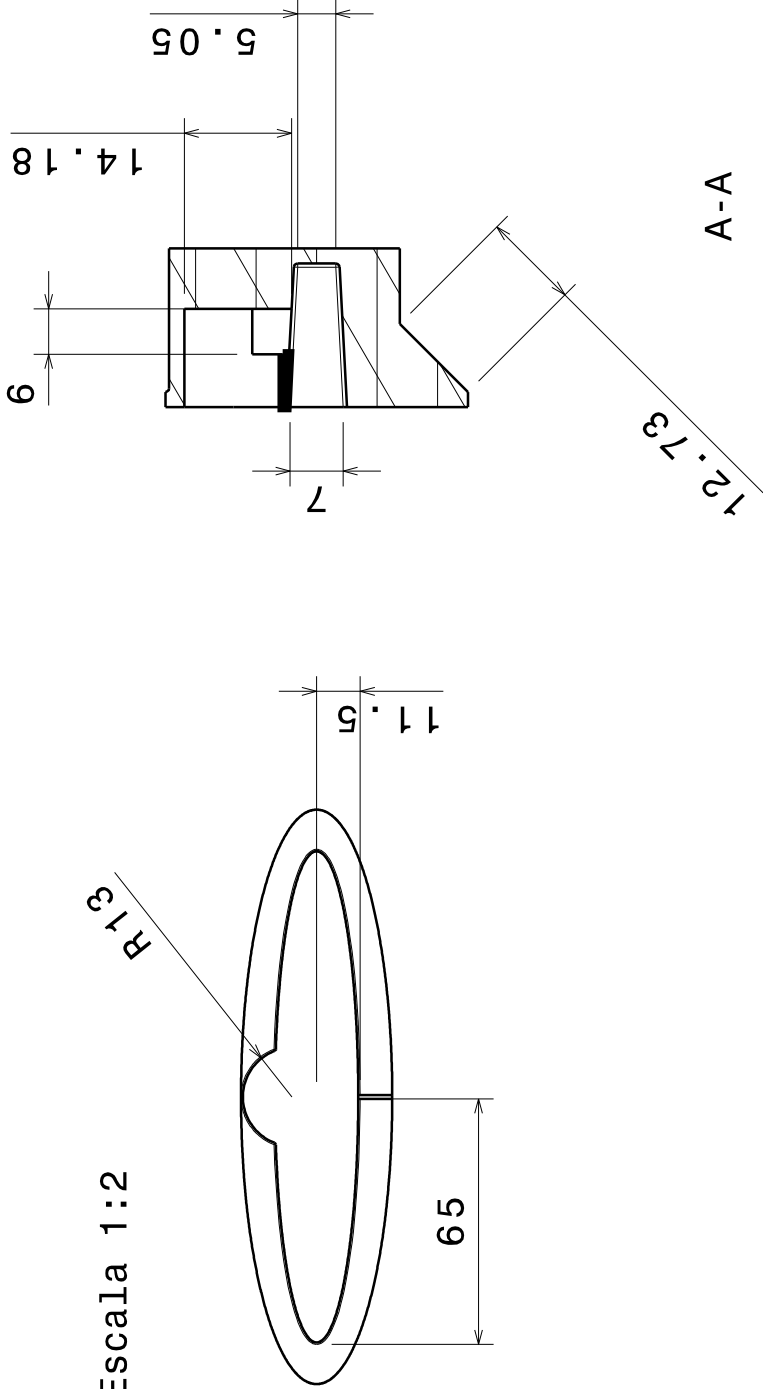


REF.	X	Y	Diameter
A	0	11	13

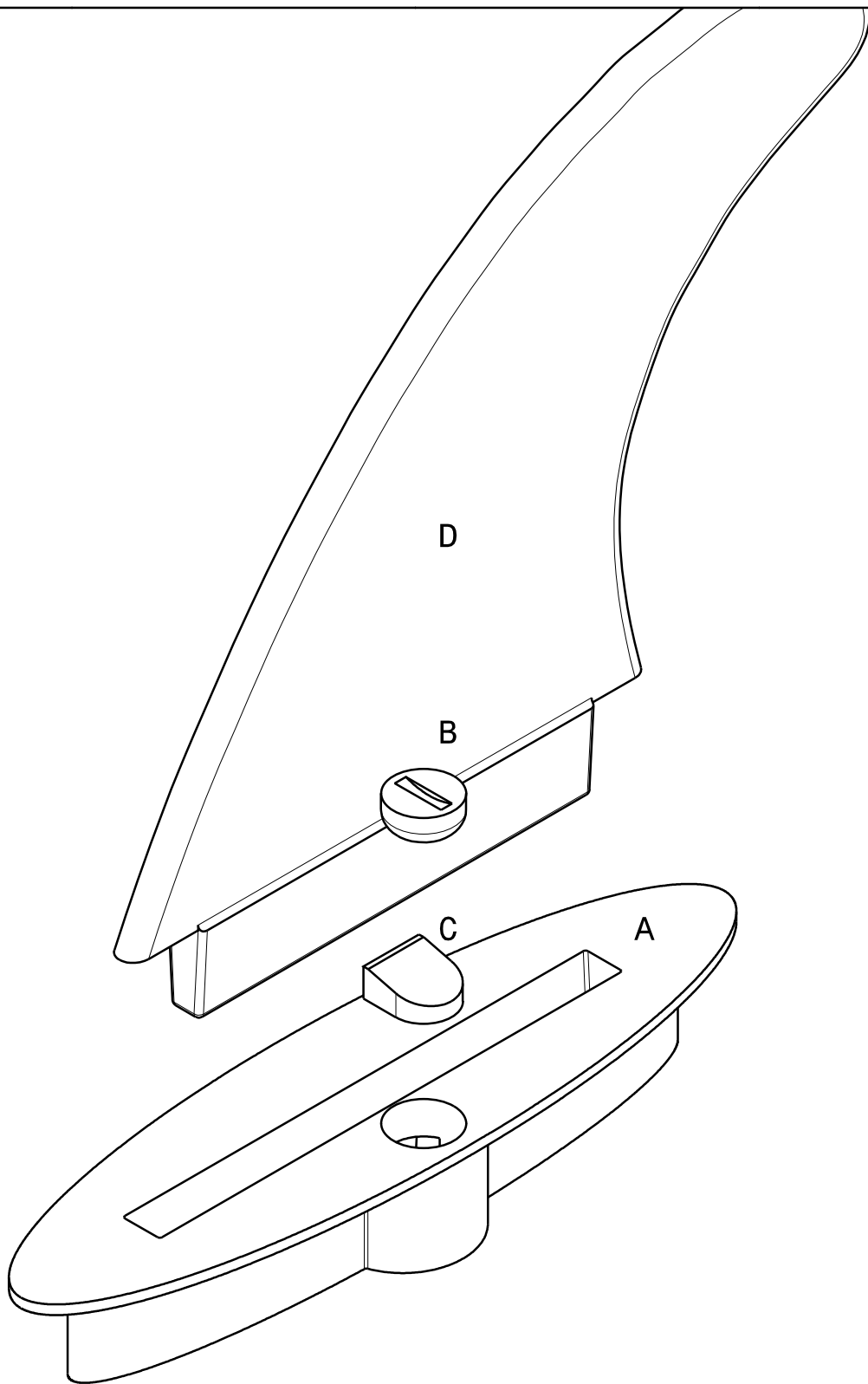


Escala 1:2

R13



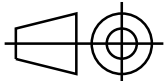
DESIGNED BY: Josu Bidasoro		upna		I	—
DATE: 02/09/2010		Universidat Pública de Navarra		H	—
CHECKED BY: XXX		Nafarroako		G	—
DATE: XXX		Unibertsitate Publikoa		F	—
SIZE A3		PFC: Josu Bidasoro		E	—
				D	—
SCALE 1:1	WEIGHT (kg) 0,049	DRAWING NUMBER CAJETIN	SHEET 1/1	C	—
				B	—
				A	—



DESIGNED BY:  
**Josu Bidasoro**  
DATE:  
**02/09/2010**  
CHECKED BY:  
**XXX**  
DATE:  
**XXX**

**upna**  
Universidad  
Pública de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

SIZE  
**A4**



**PFC: Josu Bidasoro**

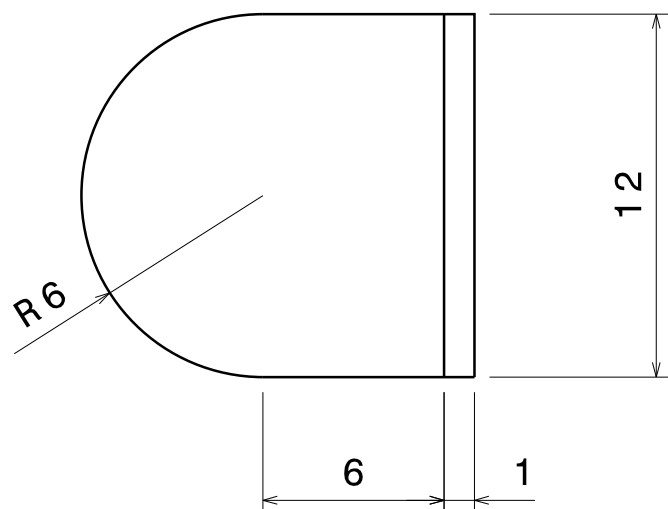
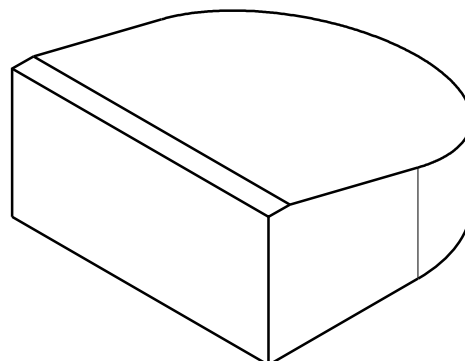
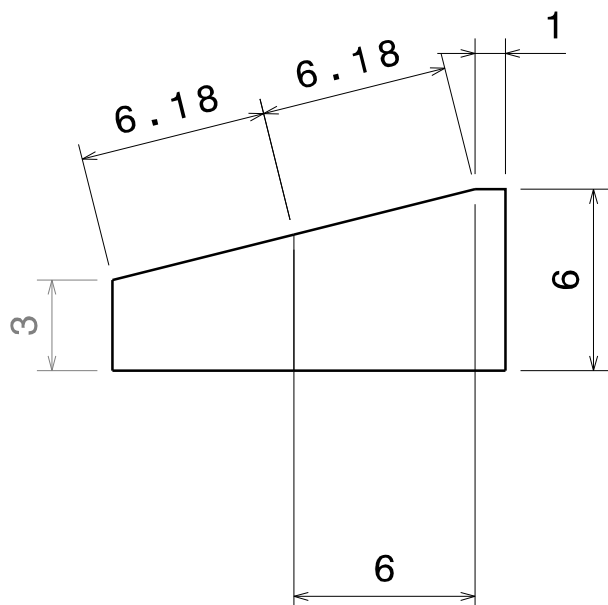
SCALE  
**1:1**

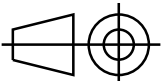
WEIGHT (kg)  
**XXX**

DRAWING NUMBER  
**Conjunto**

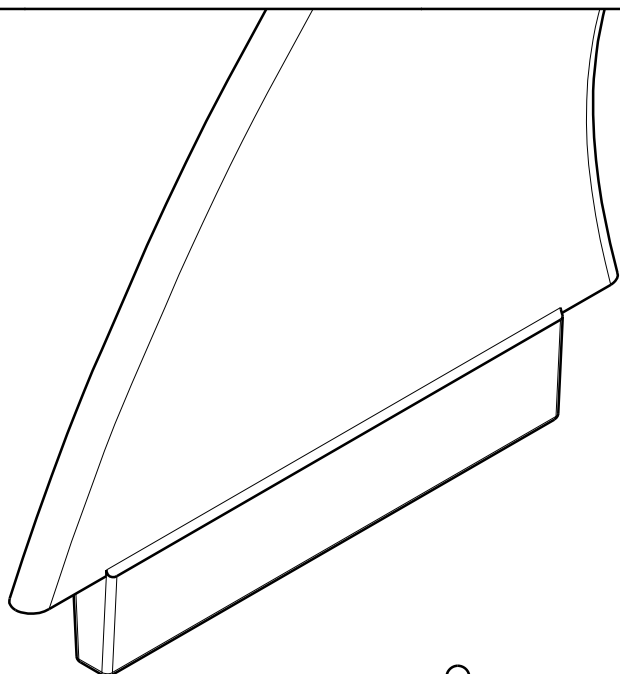
SHEET  
**1 / 1**

I	—
H	—
G	—
F	—
E	—
D	Quilla
C	Goma
B	Tapon
A	Cajetín

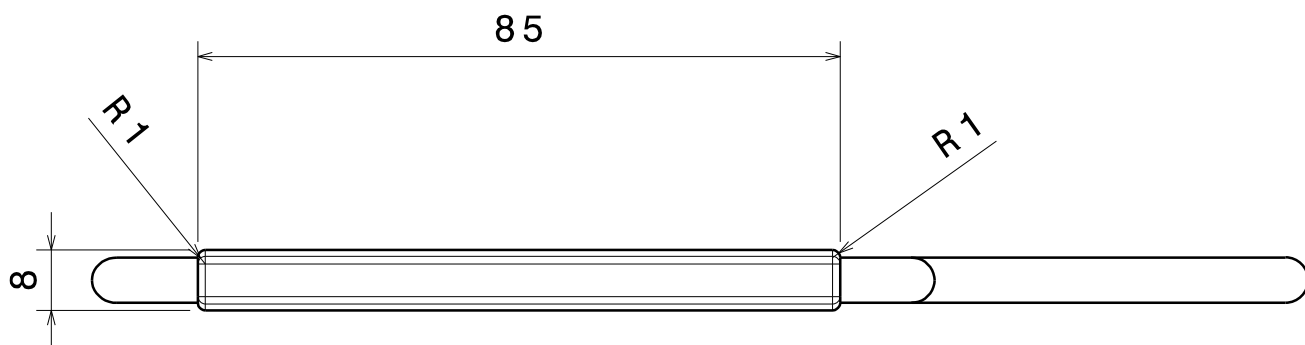
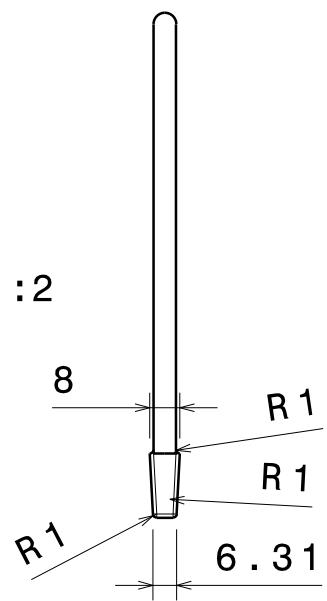
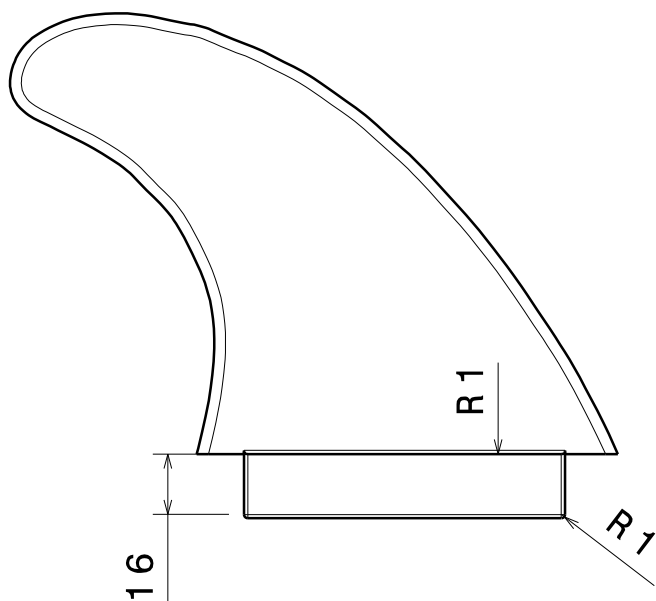


DESIGNED BY: <b>Josu Bidasoro</b>		<div><div>upna</div><div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div></div>	I	—
DATE: <b>02/09/2010</b>			H	—
CHECKED BY: <b>XXX</b>	DATE: <b>XXX</b>		G	—
			F	—
SIZE <b>A4</b>		<b>PFC: Josu Bidasoro</b>	E	—
			D	—
SCALE <b>4:1</b>	WEIGHT (kg) <b>0,00</b>		C	—
<b>Goma</b>			B	—
			A	—
			SHEET <b>1 / 1</b>	

Escala 1:2



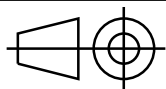
Escala 1:2



DESIGNED BY:  
Josu Bidasoro  
DATE:  
02/09/2010  
CHECKED BY:  
XXX  
DATE:  
XXX

**upna**  
Universidad  
Pública de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

SIZE  
**A4**



**PFC: Josu Bidasoro**

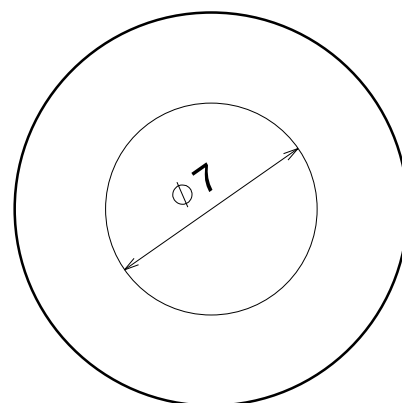
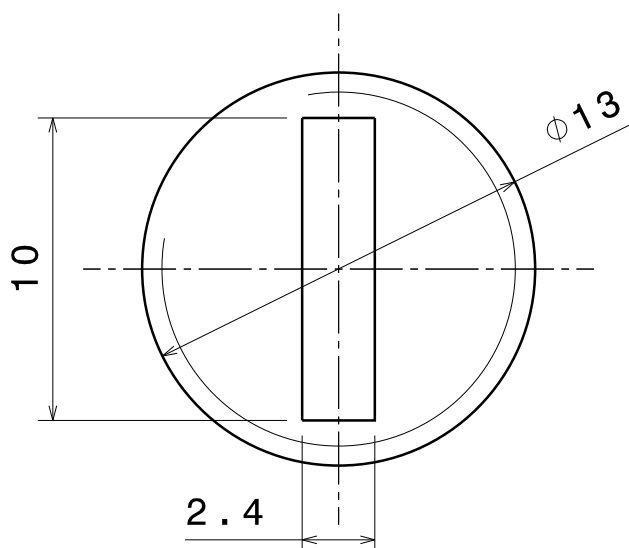
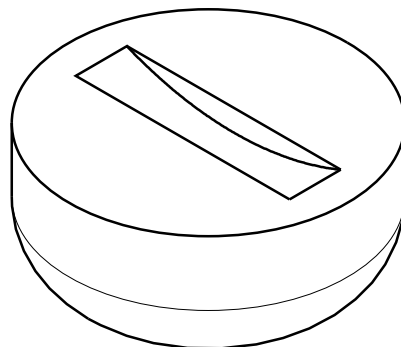
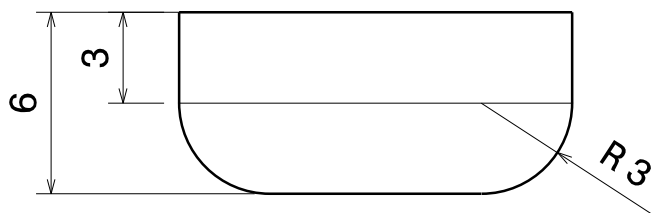
SCALE  
**1:1**

WEIGHT (kg)  
**0,07**

DRAWING NUMBER  
**Quilla**

SHEET  
**1 / 1**

I	—
H	—
G	—
F	—
E	—
D	—
C	—
B	—
A	—



DESIGNED BY:  
**Josu Bidasoro**

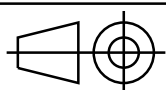
DATE:  
**02/09/2010**

CHECKED BY:  
**XXX**

DATE:  
**XXX**

**upna**  
Universidad  
Pública de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

SIZE  
**A4**



**PFC: Josu Bidasoro**

SCALE  
**4:1**

WEIGHT (kg)  
**0,00**

DRAWING NUMBER  
**Tapon**

SHEET  
**1 / 1**

I	—
H	—
G	—
F	—
E	—
D	—
C	—
B	—
A	—